



汕頭大學

SHANTOU UNIVERSITY

機械工程材料

第7讲 钢的热处理原理



教学目的:

了解钢在加热条件下其内部组织结构的转变过程，熟悉钢在冷却条件下的组织转变规律，掌握共析钢过冷奥氏体等温转变曲线的含义及其在高温、中温、低温转变区的组织转变特点。

教学内容:

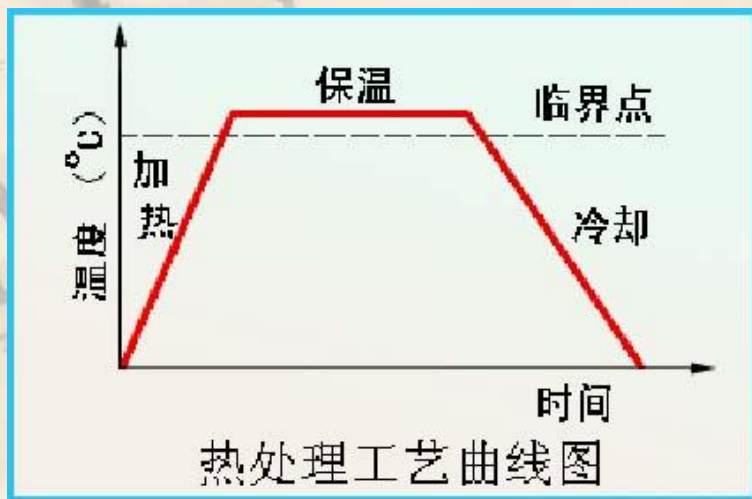
- 7.1 概述
- 7.2 钢在加热时的转变
- 7.3 钢在冷却时的转变



7.1 概述

7.1.1. 热处理的概念

将固态金属或合金在一定介质中加热、保温、冷却，以改变材料整体或表层组织，从而获得所需性能的工艺。



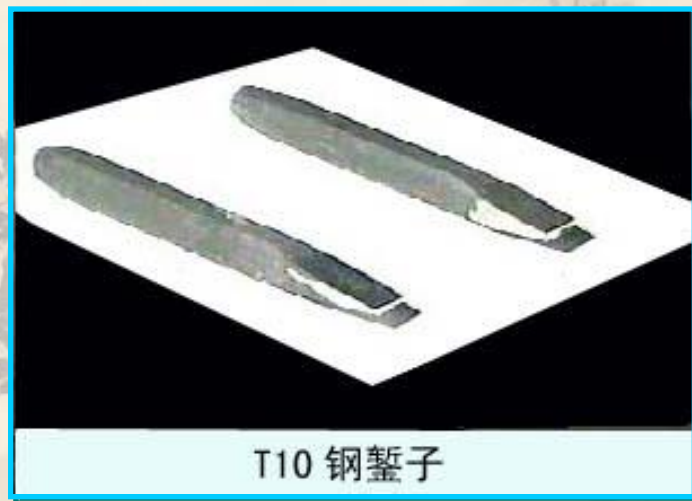


7.1 概述

7.1.2. 热处理的作用

- (1) 提高材料的使用性能，延长工件使用寿命；
- (2) 改善材料的工艺性能，便于工件的冷热加工。

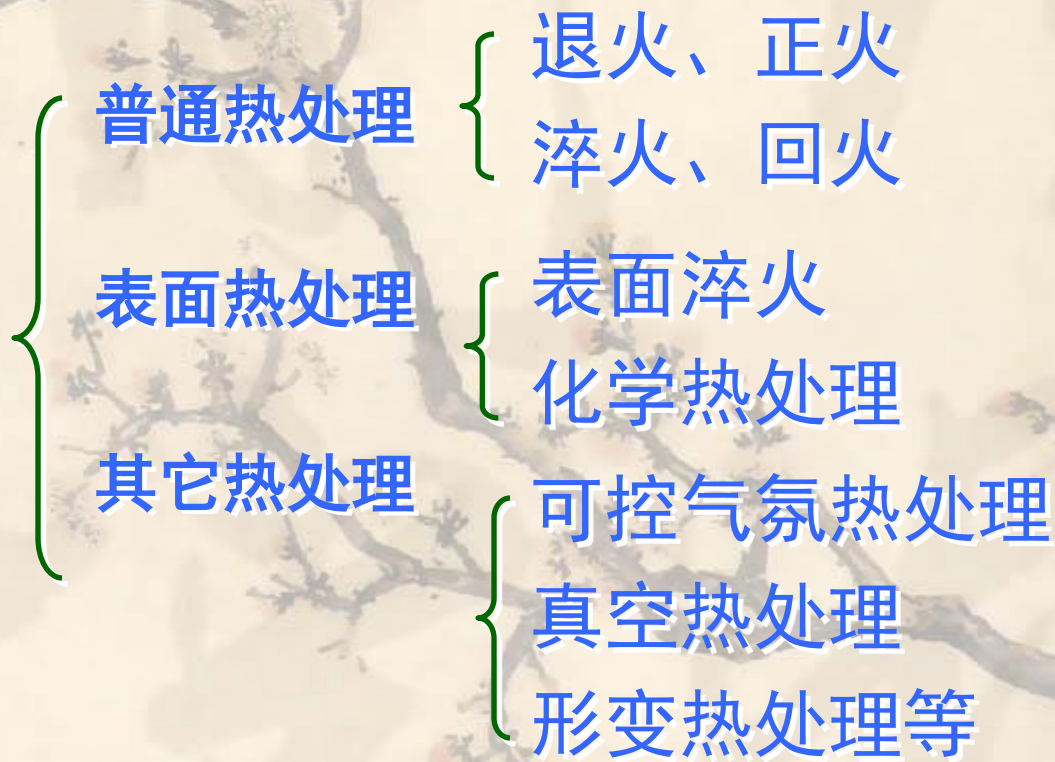
例如：T10钢锉子在热处理前后的性能（硬度）：
正火状态：25-30HRC
球化退火：20HRC
淬火状态：62-65HRC





7.1 概 述

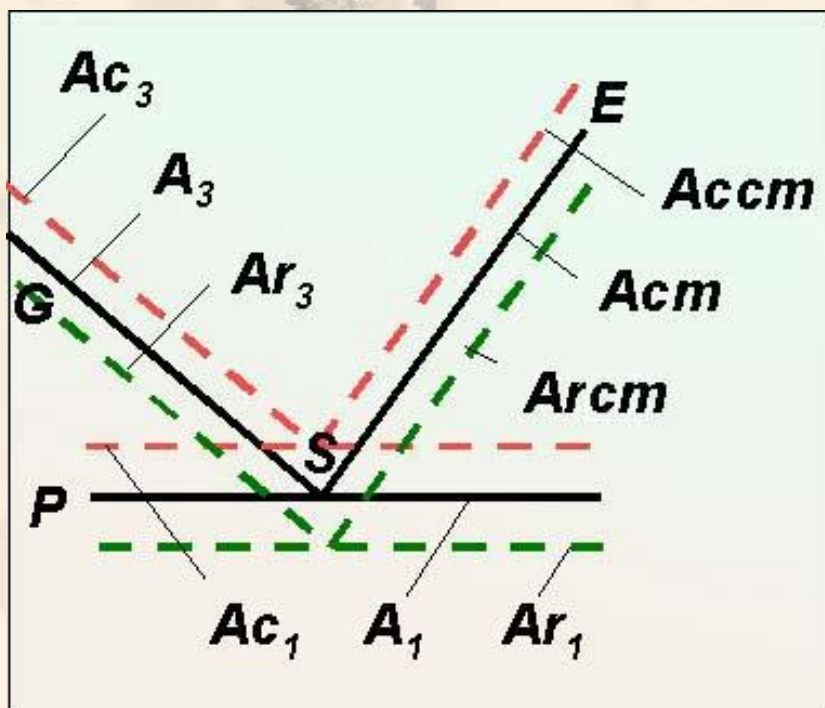
7.1.3. 热处理的分类





7.2 鋼在加熱時的轉變

7.2.1 轉變溫度



① 实际加热时的相变温度高于相图中的平衡相变温度。通常用 Ac_1 、 Ac_3 、 $Accm$ 表示；

② 实际冷却时的相变温度低于相图中的平衡相变温度。常用 Ar_1 、 Ar_3 、 $Arcm$ 表示。

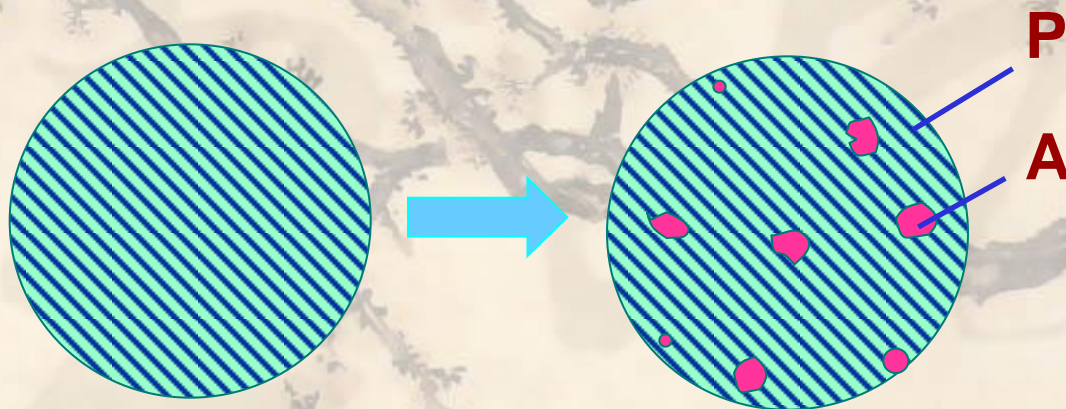


7.2 钢在加热时的转变

7.2.2 奥氏体的形成

钢加热时奥氏体的形成也是通过形核及长大过程来实现的。现以共析钢为例说明奥氏体形成的四个步骤：

第一步：奥氏体晶核的形成

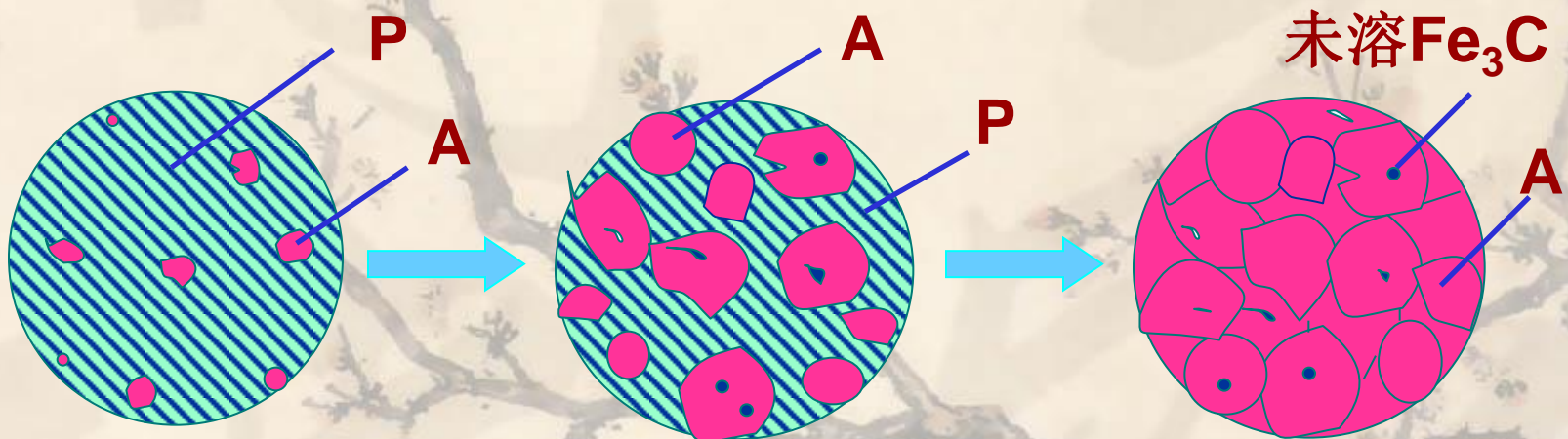




7.2 鋼在加熱時的轉變

7.2.2 奧氏體的形成

第二步：奧氏體晶核的長大

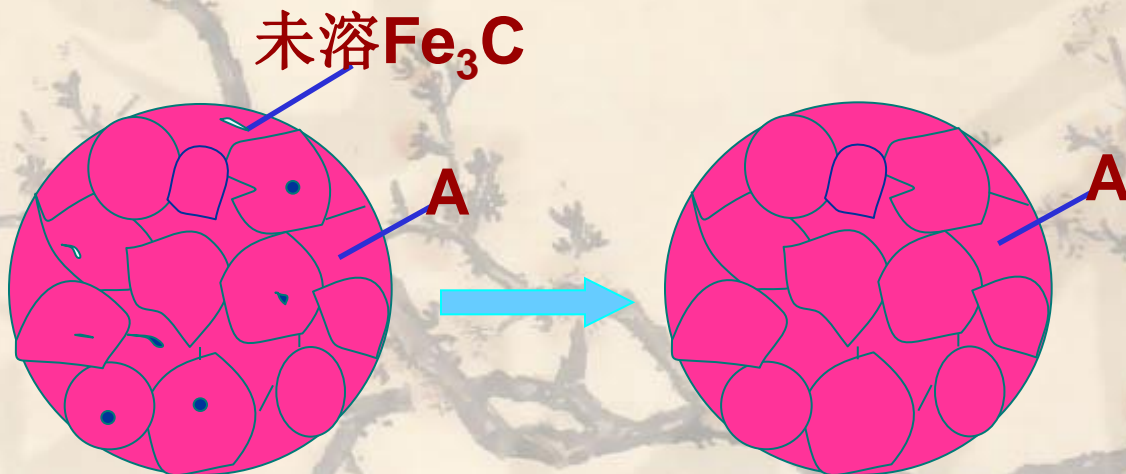




7.2 鋼在加熱時的轉變

7.2.2 奧氏體的形成

第三步：残余渗碳体的溶解

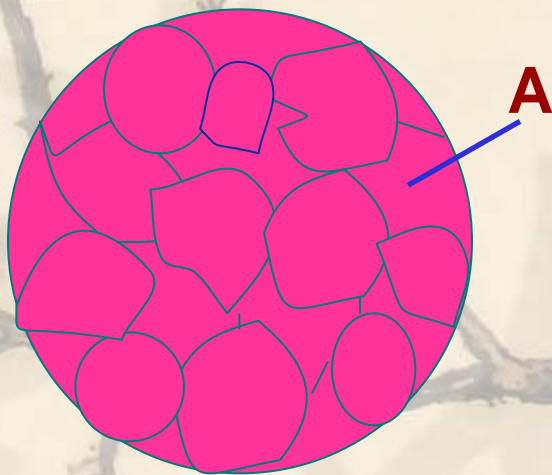




7.2 鋼在加熱時的轉變

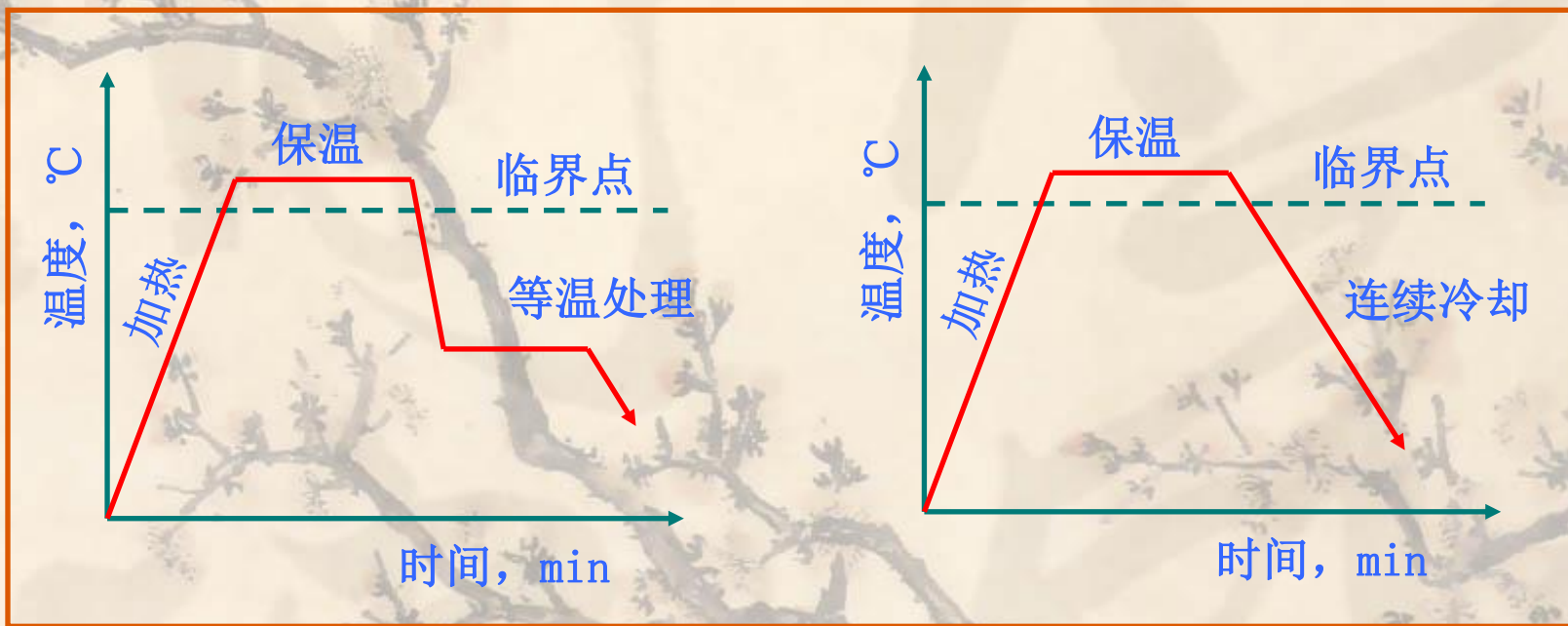
7.2.2 奧氏體的形成

第四步：奧氏體成分的均勻化





7.3 钢在冷却时的转变



钢在奥氏体化后的两种冷却方式



7.3 钢在冷却时的转变

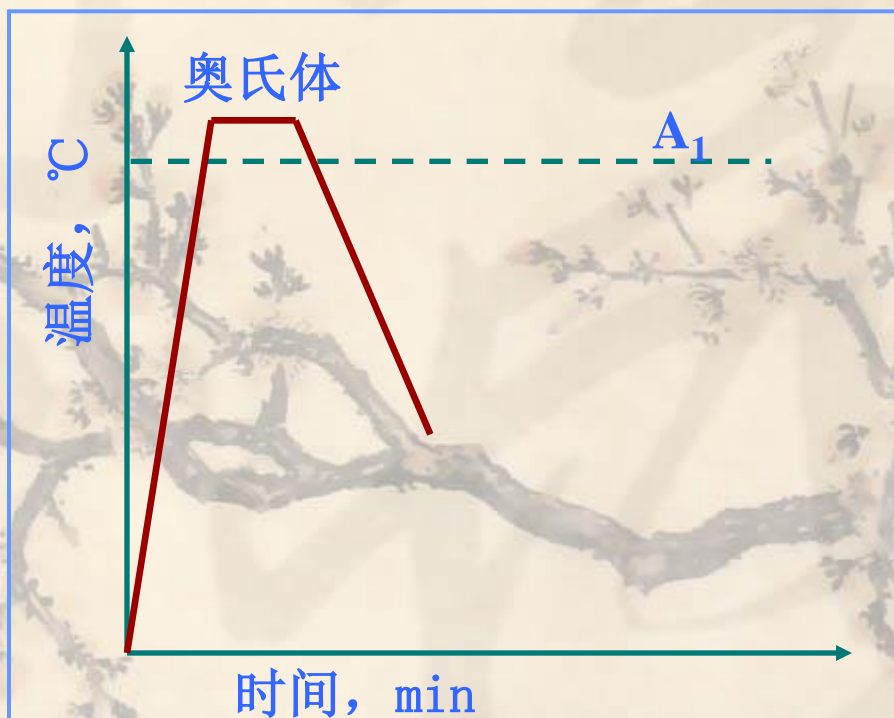
7.3.1 过冷奥氏体的等温转变曲线

1、共析钢过冷奥氏体的等温转变曲线的建立

A_1 点以上——

A_1 点以下——

过冷奥氏体

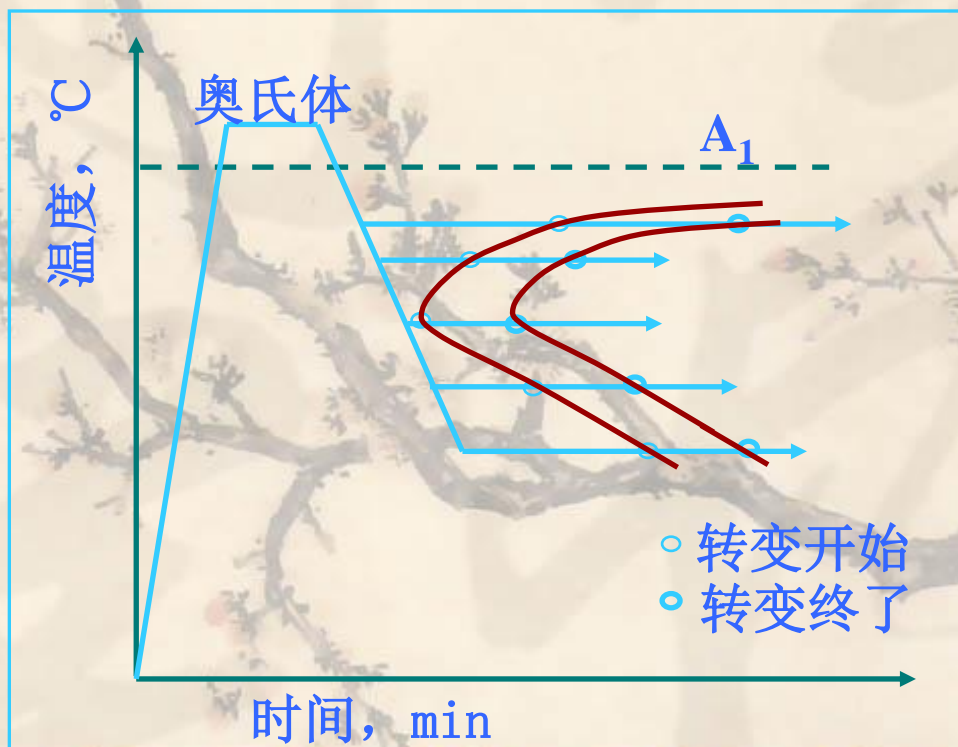




7.3 钢在冷却时的转变

7.3.1 过冷奥氏体的等温转变曲线

1、共析钢过冷奥氏体的等温转变曲线的建立

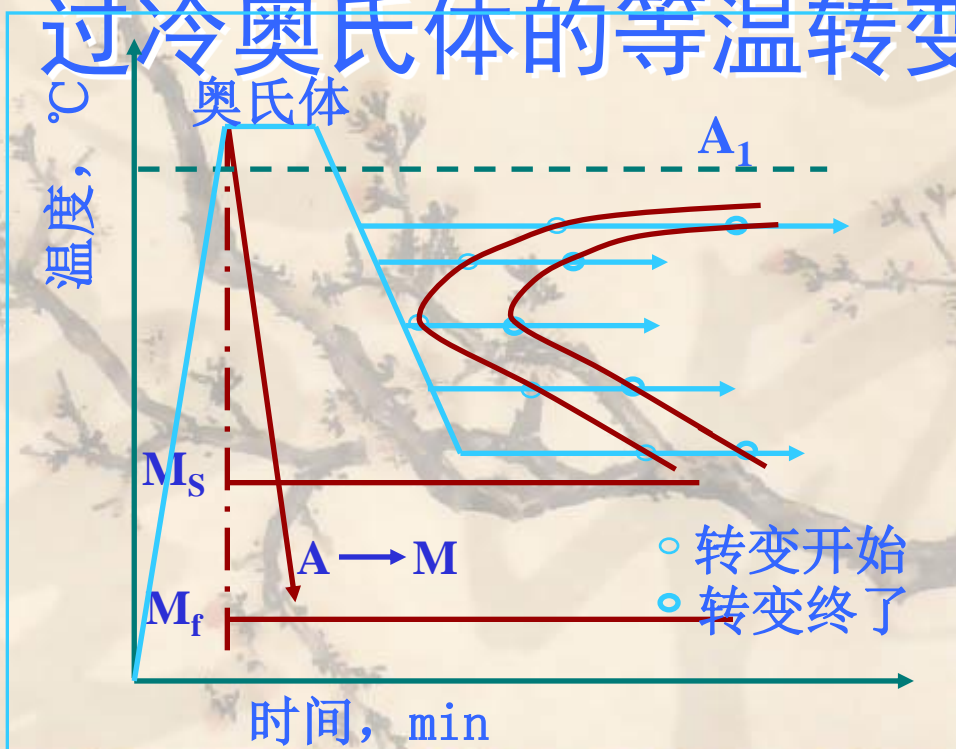




7.3 钢在冷却时的转变

1、共析钢过冷奥氏体的等温转变曲线的建立

7.3.1 过冷奥氏体的等温转变曲线





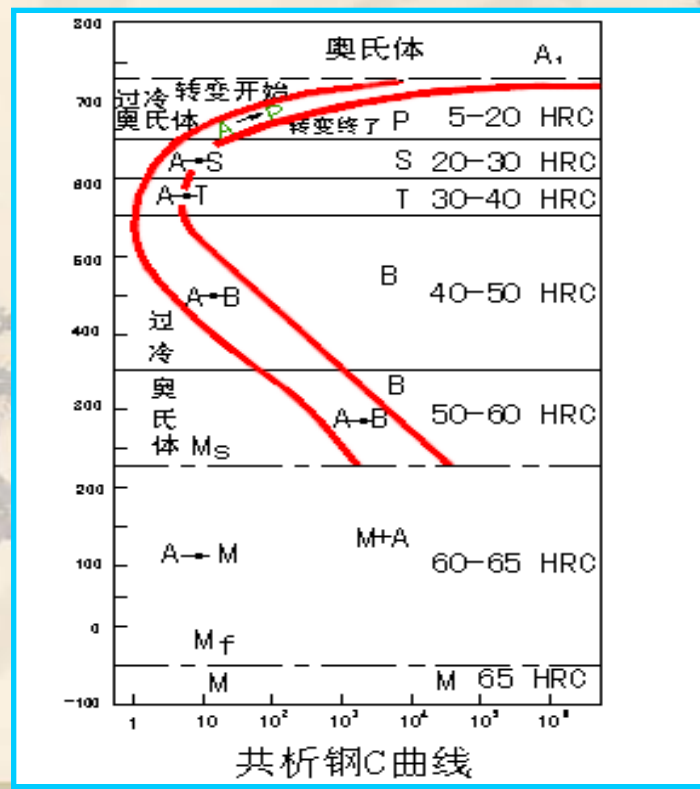
7.3 钢在冷却时的转变

7.3.1 过冷奥氏体的等温转变曲线

2、共析钢过冷奥氏体等温转变曲线的分析

一个重要的温度——
鼻尖温度 (550°C)

两条重要的线——
转变开始线
转变终了线





7.3 钢在冷却时的转变

7.3.1 过冷奥氏体的等温转变曲线

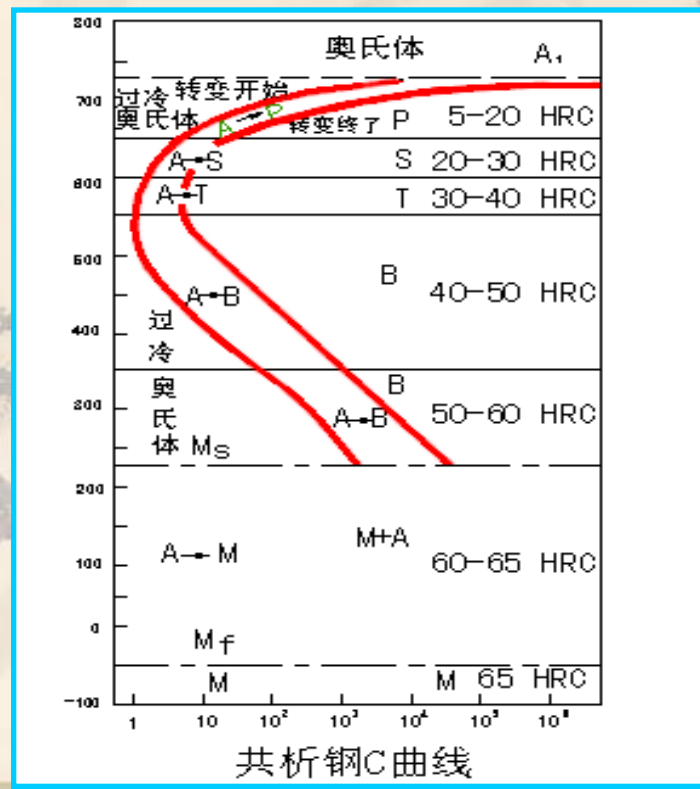
2、共析钢过冷奥氏体的等温转变曲线的分析

三个转变区——

$A_1 \sim 550^\circ\text{C}$: 为高温转变区, 转变为P;

$550 \sim 230^\circ\text{C}$: 为中温转变区, 转变为B;

$230 \sim -50^\circ\text{C}$: 为低温转变区, 转变为M。

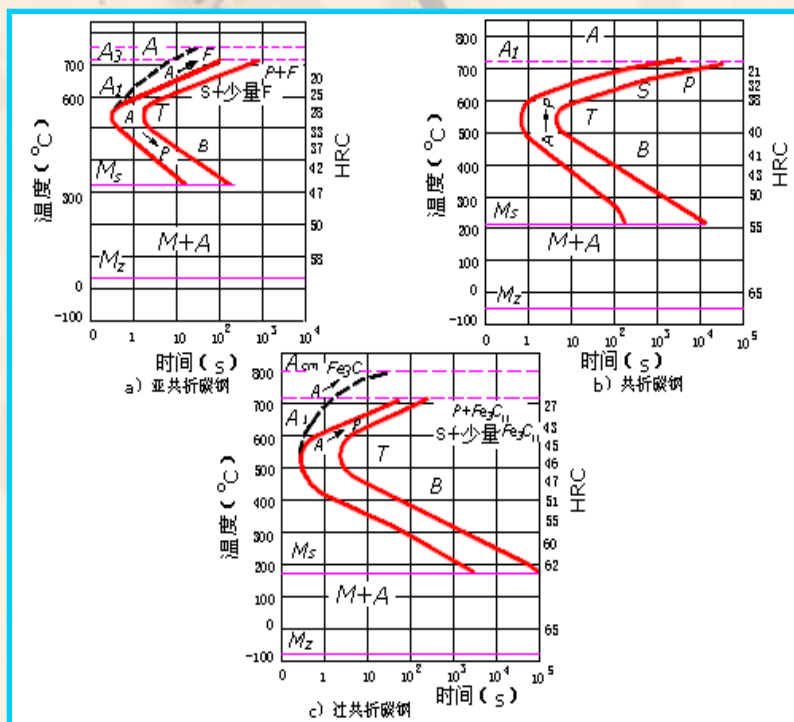




7.3 钢在冷却时的转变

7.3.1 过冷奥氏体的等温转变曲线

3、亚共析钢和过共析钢的等温转变曲线



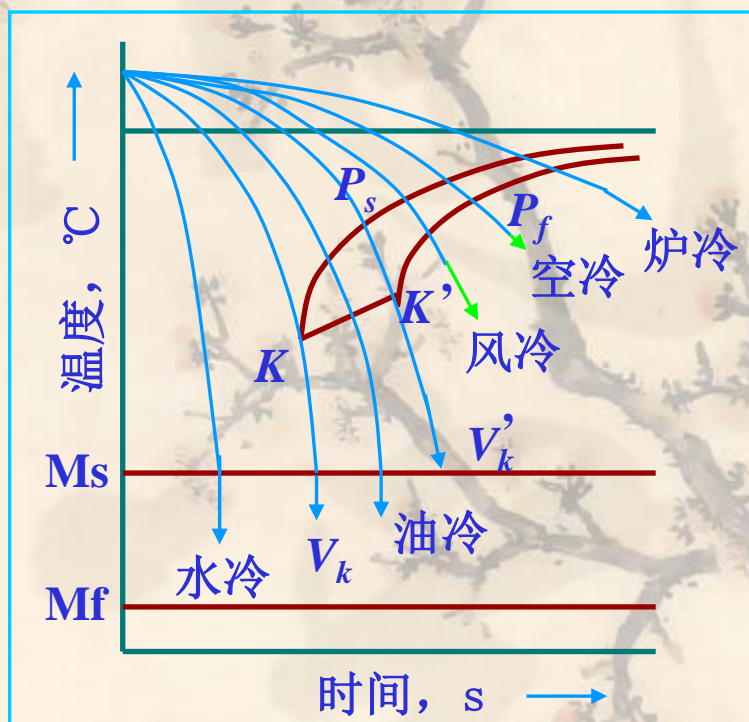
共同点：都具有过冷奥氏体的转变开始线和转变终了线

不同点：在亚共析钢的C曲线上多出一条先析铁素体析出线；在过共析钢的C曲线上多出一条先析渗碳体析出线。



7.3 钢在冷却时的转变

7.3.2 过冷奥氏体的连续冷却转变曲线



① CCT曲线由A→P 转变开始线 P_s 、转变终了线 P_f 及转变中止线 KK' 组成

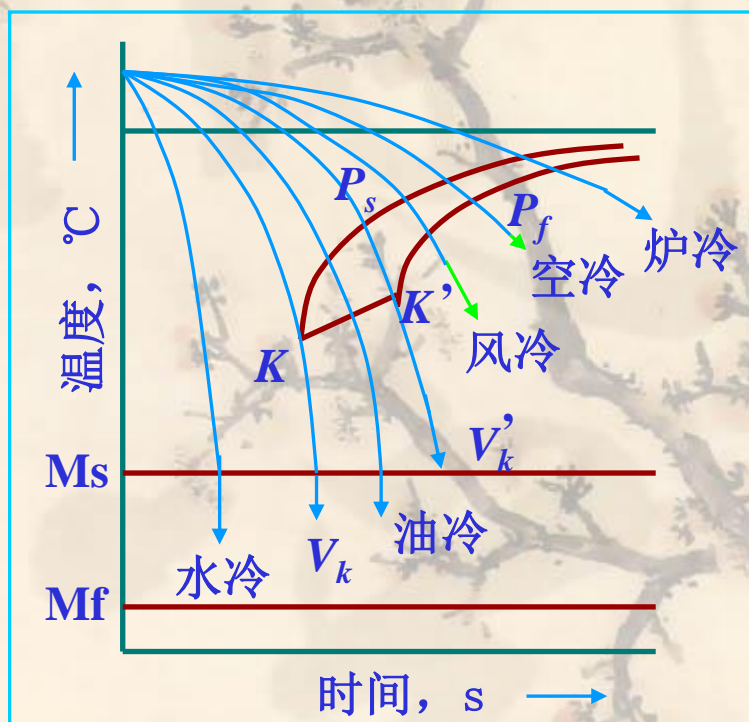
② CCT曲线位于TTT曲线右下方。

③ 当连续冷却曲线碰到 KK' 线时，A→P 则中止；冷至 M_s 点以下，则A→M。



7.3 钢在冷却时的转变

7.3.2 过冷奥氏体的连续冷却转变曲线



④ V_k 为CCT曲线的上临界冷却速度。它是不发生珠光体转变的最小冷却速度。

⑤ V'_k 为CCT曲线的下临界冷却速度，是钢全部发生珠光体转变的最大冷却速度。



7.3 鋼在冷卻時的轉變

7.3.3 珠光體轉變

珠光體——由鐵素體和滲碳體組成的機械混合物，根據其片層間距的不同又可分為珠光體、索氏體和屈氏體。

- 珠光體 (P) 形成溫度： $A_1 \sim 650^\circ\text{C}$ ，
片層間距： $d = 0.35 \sim 0.7 \mu\text{m}$
- 索氏體 (S) 形成溫度： $650 \sim 600^\circ\text{C}$ ，
片層間距： $d = 0.25 \sim 0.3 \mu\text{m}$
- 屈氏體 (T) 形成溫度： $600 \sim 550^\circ\text{C}$ ，
片層間距： $d < 0.25 \mu\text{m}$

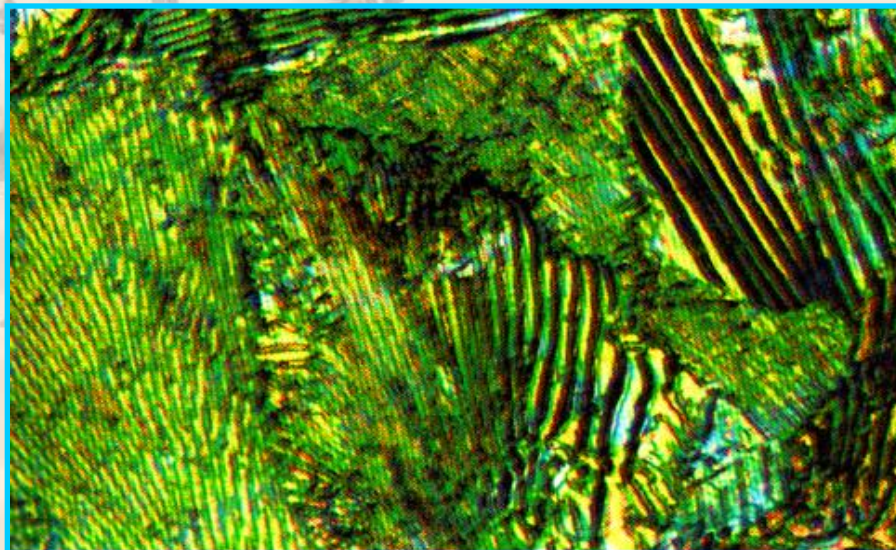


7.3 鋼在冷卻時的轉變

7.3.3 珠光體轉變

轉變特點：擴散型轉變

性能特點：片層間距越小，組織越細，強度、硬度越高。



T8鋼1000℃退火組織（化染）

420 ×

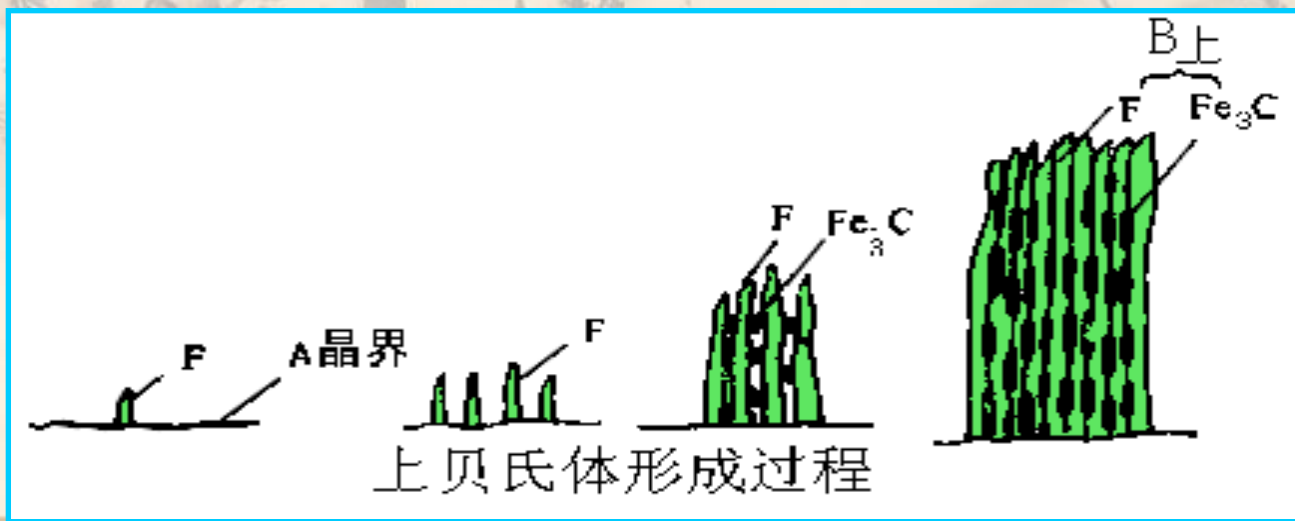


7.3 鋼在冷卻時的轉變

7.3.4 貝氏體轉變

貝氏體——是碳化物分布在碳過飽和的鐵素體基體上的兩相混合物，分上貝氏體和下貝氏體兩種。

$B_{\text{上}}$ 形成過程：在羽毛狀鐵素體之間析出 Fe_3C 。

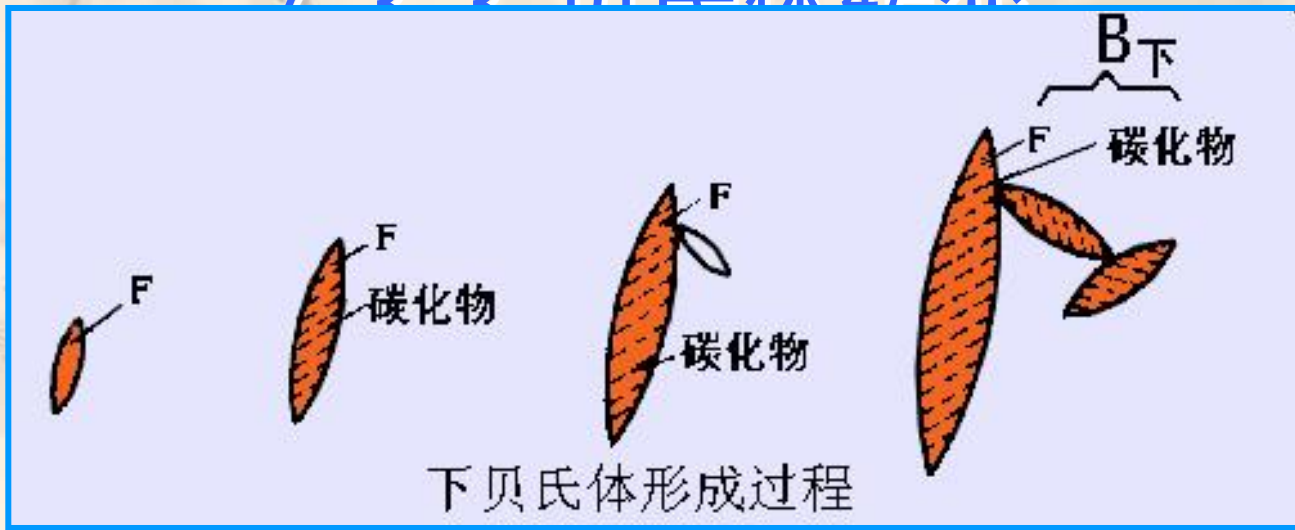




7.3 鋼在冷卻時的轉變

$B_{\text{下}}$ 形成過程：在羽毛狀鐵素體之間析出 Fe_3C 。

7.2.2 貝氏體轉變

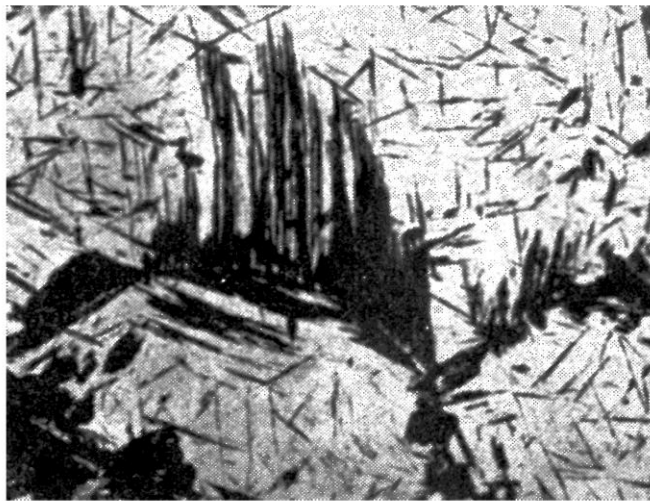




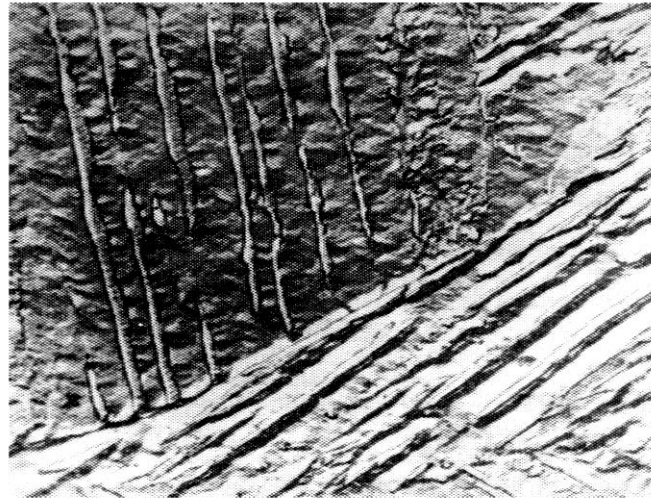
7.3 鋼在冷卻時的轉變

7.3.4 貝氏體轉變

上貝氏體 ($B_{上}$) 显微形态



(a) 金相



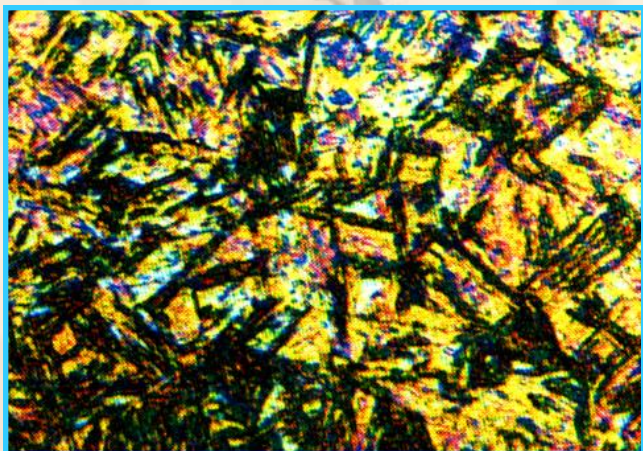
(b) TEM



7.3 钢在冷却时的转变

7.3.4 贝氏体转变

下贝氏体 ($B_{\text{下}}$) 显微组织形态



T8钢1100℃加热320℃等温淬火组织（化染） 210×



下贝氏体电镜照片



7.3 钢在冷却时的转变

7.3.4 贝氏体转变

形成条件： $550 \sim M_s$

转变特点：半扩散型转变

性能特点：

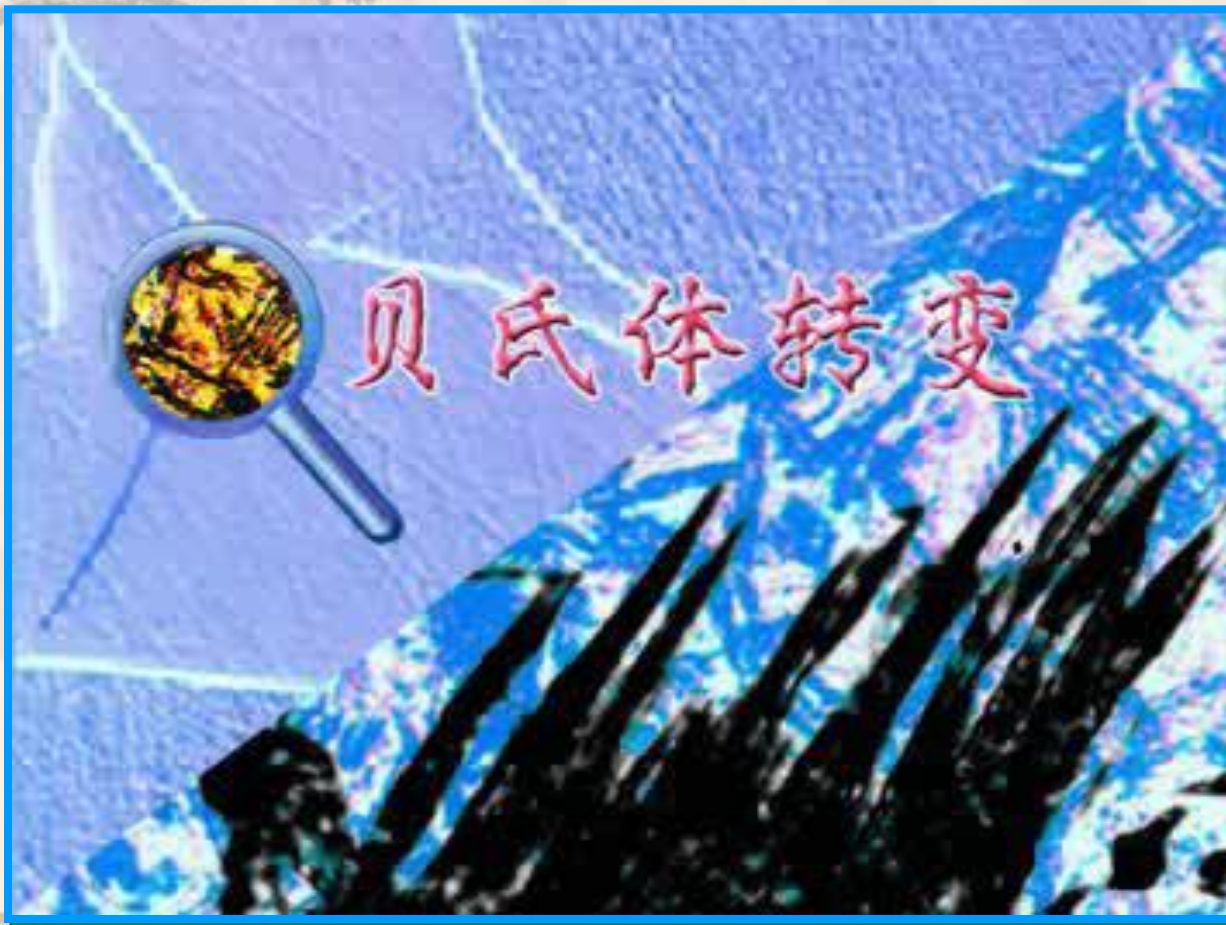
上贝氏体强度和韧性都较差，属热处理中需要避免产生的组织；

下贝氏体硬度高，韧性好，很有应用价值。



7.3 钢在冷却时的转变

7.3.4 贝氏体转变



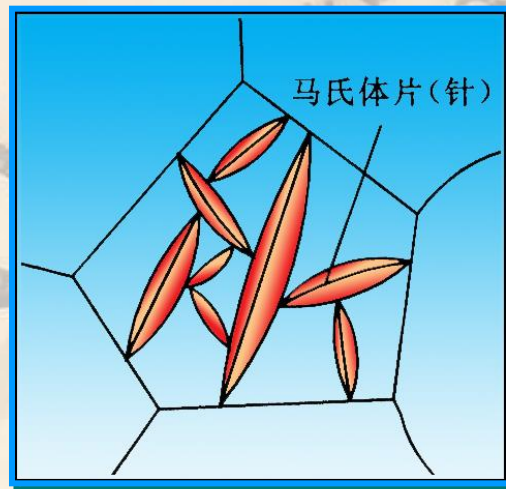
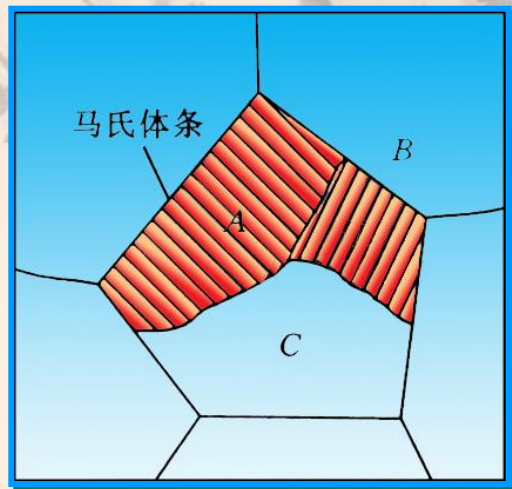


7.3 鋼在冷卻時的轉變

7.3.4 馬氏體轉變

馬氏體——是碳在 α -Fe 中過飽和的固溶體，用符號“M”表示。

馬氏體的組織形態分為板條狀和針狀兩大類。

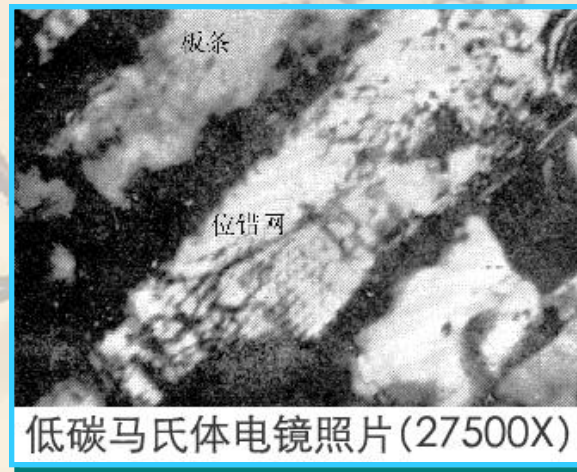
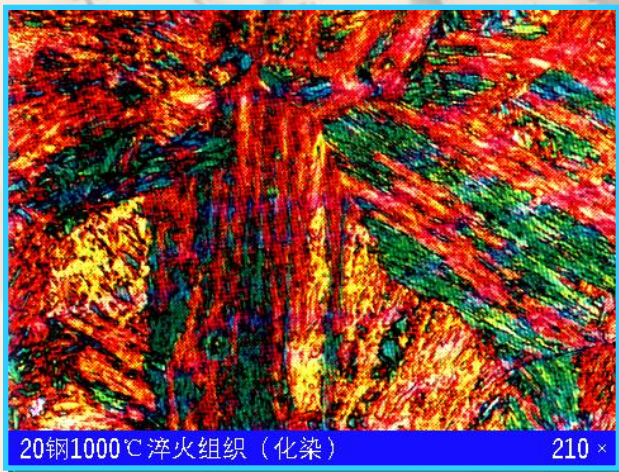




7.3 钢在冷却时的转变

7.3.5 马氏体转变

低碳马氏体——过饱和度小，内应力低，存在着位错亚结构，在显微镜下由一束束平行排列的细板条组成。故亦称位错马氏体或板条马氏体。

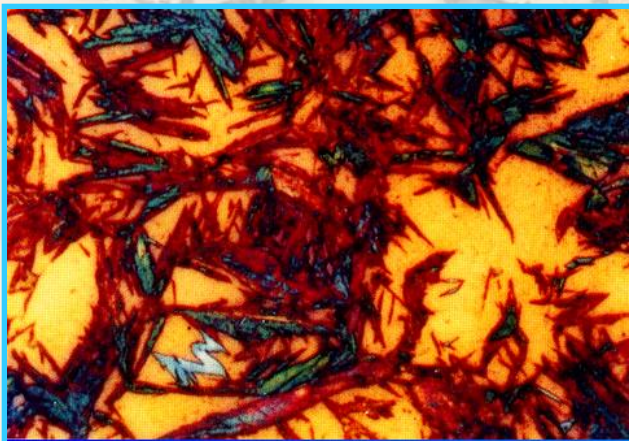




7.3 钢在冷却时的转变

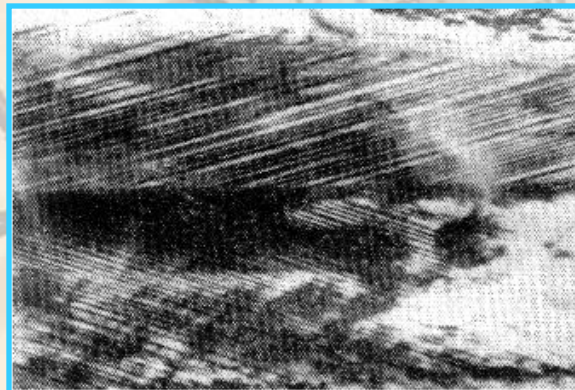
7.3.5 马氏体转变

高碳马氏体——过饱和度大，内应力高，存在孪晶亚结构，在显微镜下呈针片状，其空间形态为凸透镜状，故亦称孪晶马氏体或片状马氏体。



T12钢高温淬火组织（化染）

580 ×



高碳马氏体电镜照片 (27000X)



7.3 钢在冷却时的转变

7.3.5 马氏体转变

形成条件： M_s-M_f (共析钢： $230^{\circ}\text{C}\sim-50^{\circ}\text{C}$)

转变特点：非扩散型转变

性能特点：

高碳马氏体：硬度很高，韧性、塑性极差；

低碳马氏体：强度、硬度很高，有一定的韧性。



7.3 鋼在冷卻時的轉變

7.3.5 馬氏體轉變

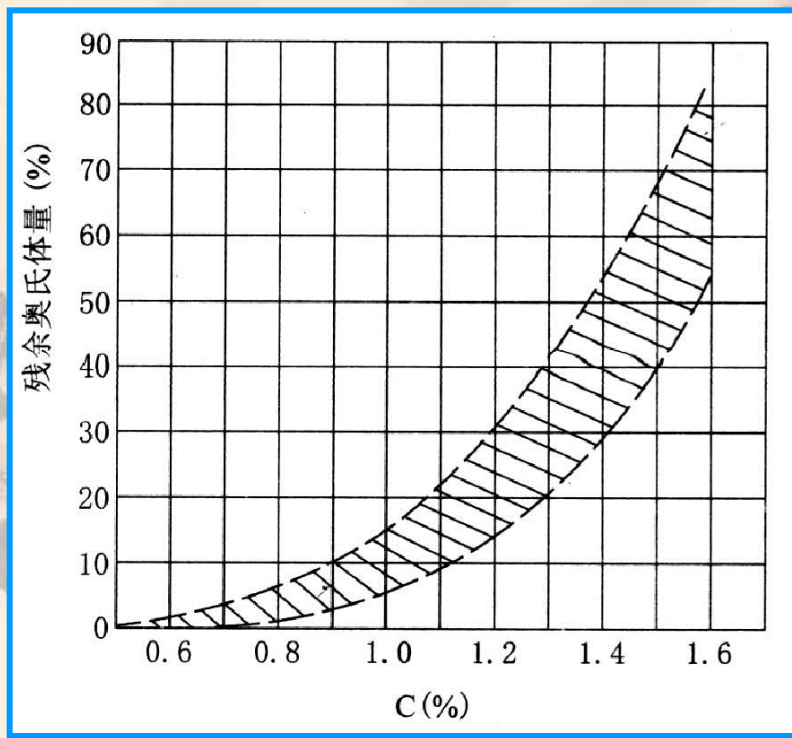
馬氏體相變的特点：

非擴散型轉變

轉變速度極快

體積膨脹性

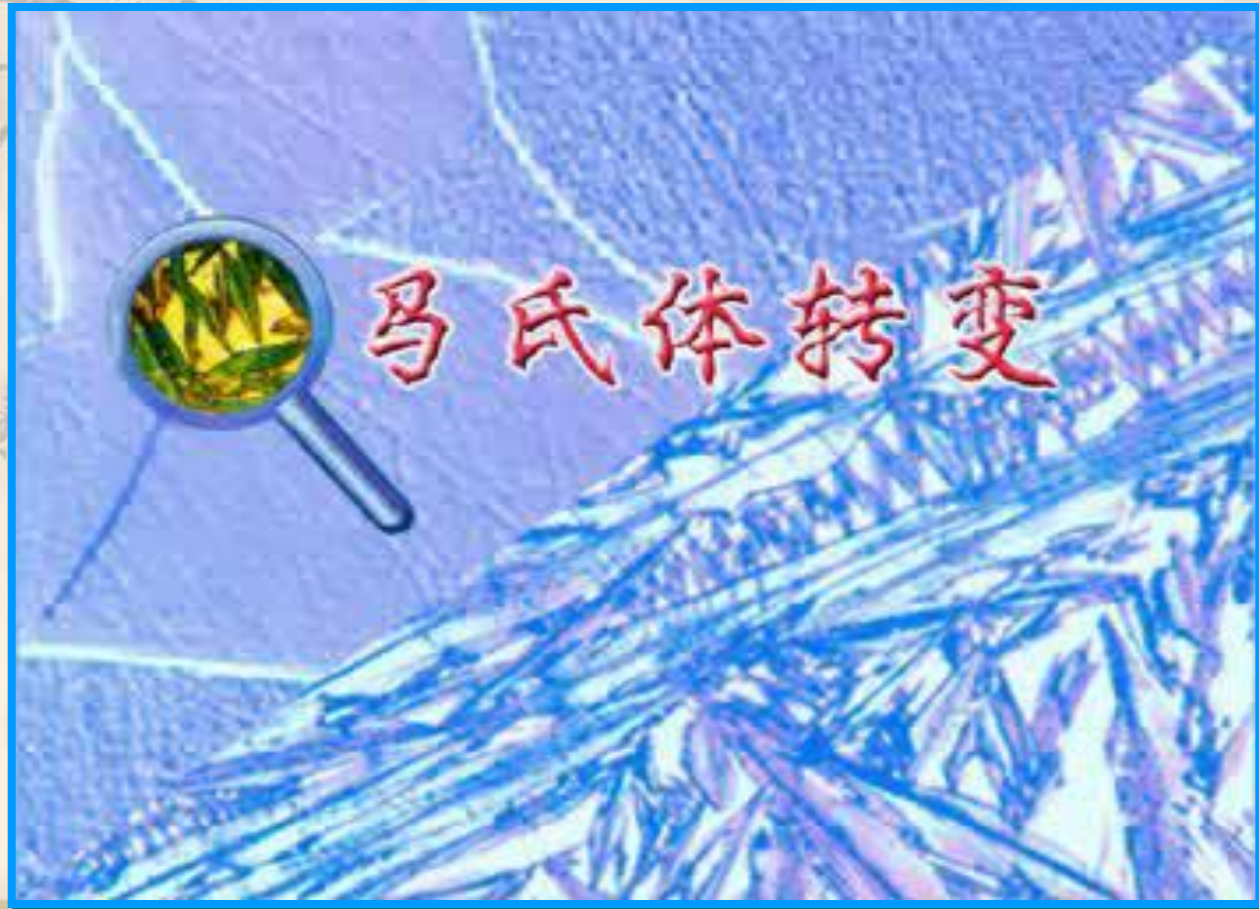
轉變不徹底





7.3 钢在冷却时的转变

7.3.5 马氏体转变





7.4 习题

1. 画出 T8 钢的过冷奥氏体等温转变曲线。为了获得以下组织，应采用什么冷却方式？并在等温转变曲线上画出冷却曲线示意图。

- (1) 索氏体
- (2) 托氏体 + 马氏体 + 残余奥氏体
- (3) 全部下贝氏体
- (4) 马氏体 + 残余奥氏体
- (5) 托氏体 + 马氏体 + 下贝氏体 + 残余奥氏体