

1. 金属材料导论

1.1 金属材料的主要性能

1.2 金属及合金的晶体结构

1.3 合金的结构

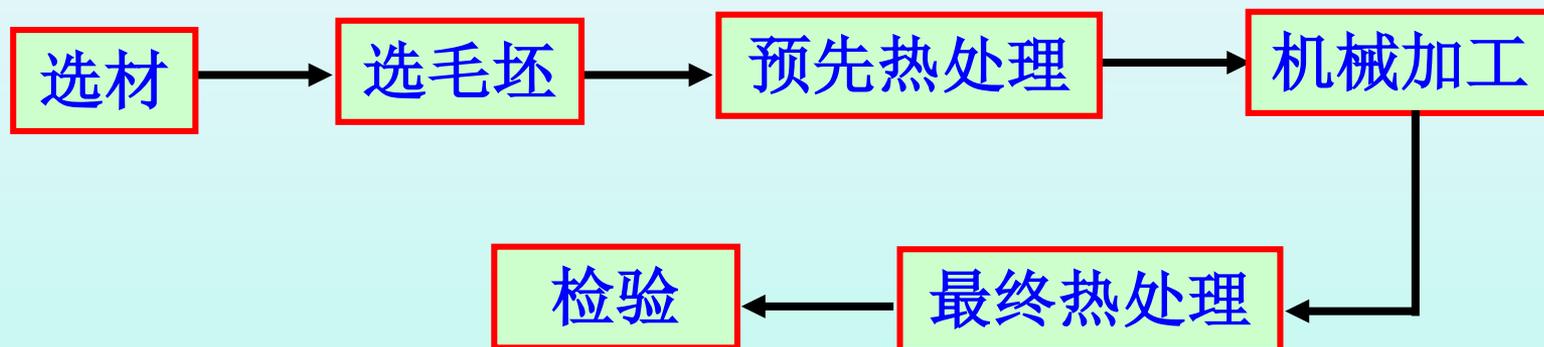
1.4 二元合金状态图

1.5 铁碳合金



零件的生产工艺过程

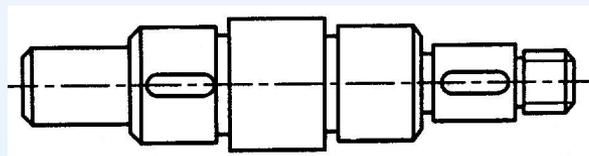
应根据零件的性能要求、受载情况、服役条件、工作环境等：



其中选材：金属材料种类繁多，性能不一，而且材料的发展日新月异，而零件的性能要求、服役条件各不相同，再加上材料的资源、价格等多方面考虑。

毛坯选择

- 有液态成形毛坯
- 塑性成形毛坯
- 连接成形毛坯
- 粉末冶金成形
- 型材等毛坯

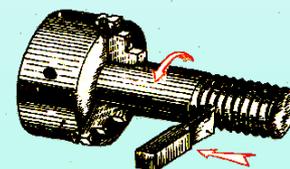


轴

机械加工方法

传统的有 → 车削、刨削、铣削
拉削、镗削、磨削等

现代的有 → 数控加工、电火花
加工、激光加工等
特种加工方法



车削

一个具体零件的加工往往可用多种不同的加工方法，而每种加工方法所能达到的加工精度、加工质量、加工范围、加工效率是不同的。

预先热处理： 为使切削加工能顺利进行，可通过预先热处理调整硬度，为切削加工做好组织准备。

最终热处理： 使材料的性能达到要求。

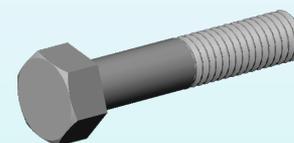


第1章 金属材料导论

材料、信息、能源称为现代技术的三大支柱。

工程材料

金属材料



陶瓷材料



高分子材料



复合材料



1.1 金属材料的主要性能

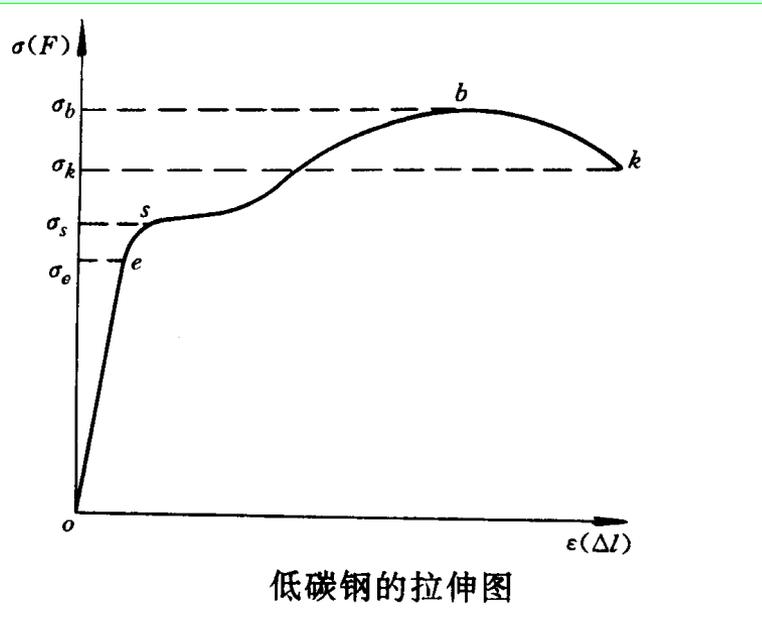
本节重点： 金属材料的力学性能

本节难点： 各性能指标的物理意义和测定方法

主要内容： 金属材料的力学性能, 包括材料的强度、硬度、塑性、冲击韧性、疲劳强度等。

1.1.1 金属材料的力学性能

强度 材料在外力作用，抵抗塑性变形和断裂的能力。工程上常用的金属材料的强度指标有**屈服强度(σ_s)**和**抗拉强度(σ_b)**等；



在低碳钢拉伸曲线中，把F- Δl 坐标换成 σ - ϵ （应力—应变）就可以直接在图上读出力学性能指标，并且不需要做成标准试样。

塑性 材料在外力作用下产生永久变形而不破坏的性能。表示材料的塑性指标是：**伸长率 δ** 和**断面收缩率 Ψ** ；对于塑性差的材料，用 $\sigma_{0.2}$ 来代替 σ_s ；

- 1) 使材料具有良好的成形性；
- 2) 受到外力变形时，有强化作用。

硬度 材料抵抗更硬的物体压入其内的能力。最常用的硬度指标有：**布氏硬度 (HB)**和**洛氏硬度 (HRA-C)**。布氏硬度和洛氏硬度试验原理和使用范围均不相同；



冲击韧度 金属材料抵抗冲击载荷的作用而不破坏的能力。常用的指标有**冲击韧度(Ak)**。

疲劳强度 金属材料抵抗交变载荷的作用而不破坏的能力。常用的指标有**疲劳强度($\sigma-1$)**。

零件发生疲劳破坏是没有预兆而**突然断裂**，此时发生疲劳破坏的应力远远小于抗拉强度，甚至比屈服强度还小，非常危险。

小结：金属材料的力学性能是在外力作用下表现出的力学性能，在实际生产中应用相当广泛。

1.1.2 金属材料的物理、化学性能（略）



思考题



1 将钟表发条拉成一直线，问这是弹性变形还是塑性变形？怎样判断它的变形性质？

2 疲劳破坏有什么危害？在什么情况下发生疲劳破坏，产生原因是什么？如何提高零件的疲劳强度？

1.2 金属及合金的晶体结构

本节重点：金属结晶的概念、结晶过程

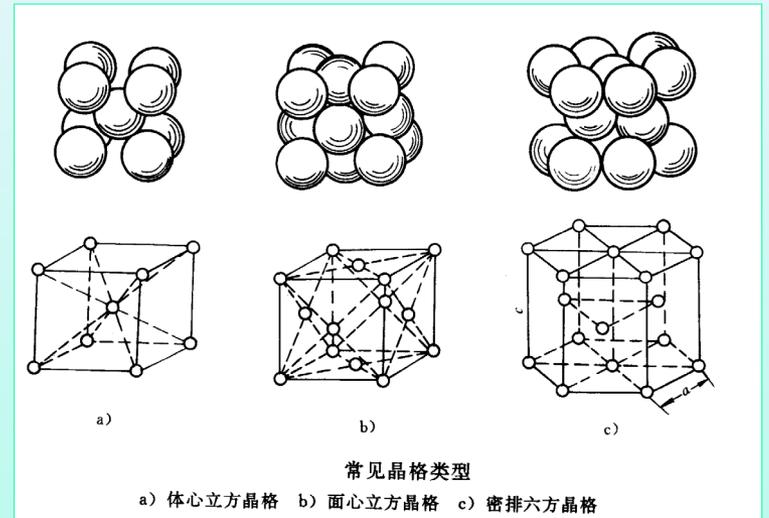
本节难点：合金的结构

1. 三种常见的金属的晶格类型：

体心立方

面心立方

密排六方



2. 金属的结晶：原子由无序状态向有序状态转变的过程。有晶体形成。



基本概念

凝固：一般非晶体由液态向固态转变的过程。

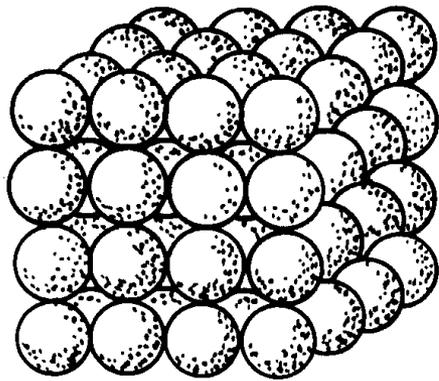
结晶：由液态金属转变为固态晶体的过程。

晶体：原子排列时有序的，原子在三维空间做规则的、周期性的、重复排列。有一定的熔点和凝固点，性能趋向各向异性。

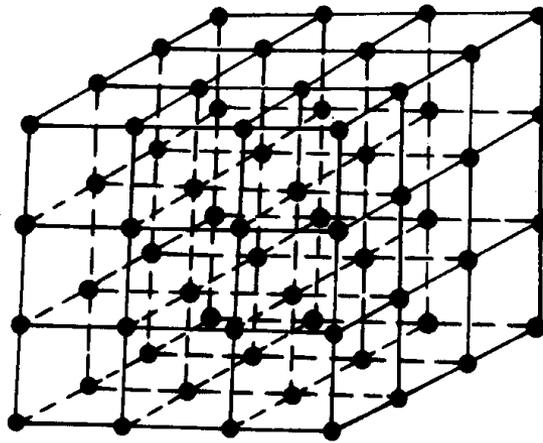
非晶体：原子排列杂乱无章呈无序状态，没有一定的熔点和凝固点，性能趋向各向同性。



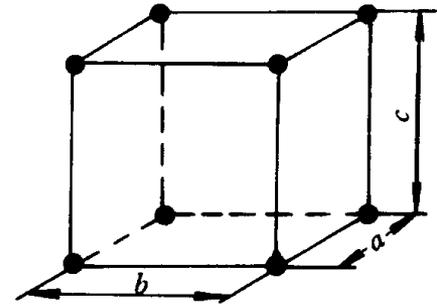
晶体中的原子排列



a)



b)



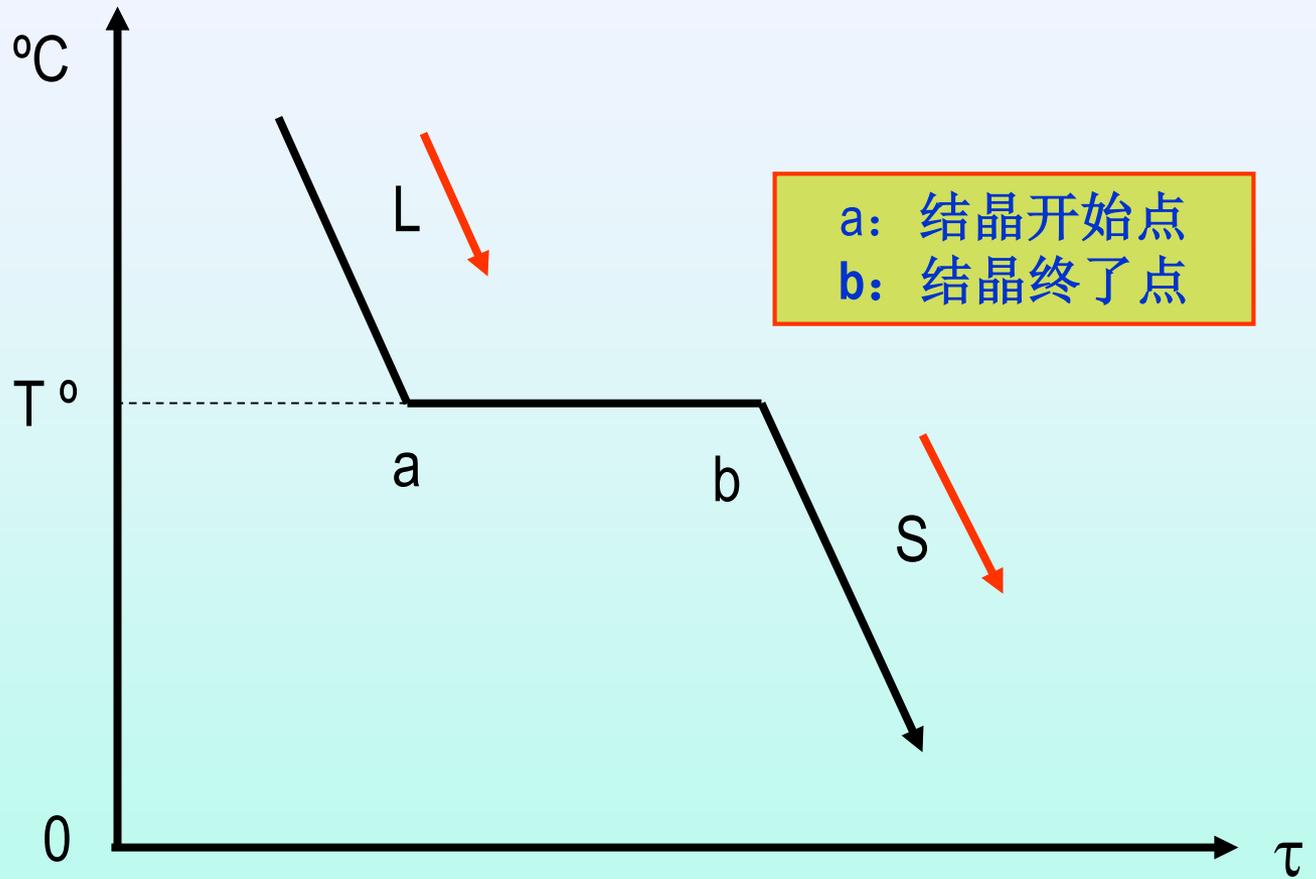
c)

简单立方晶格与晶胞示意图

a) 晶体中的原子排列 b) 晶格 c) 晶胞

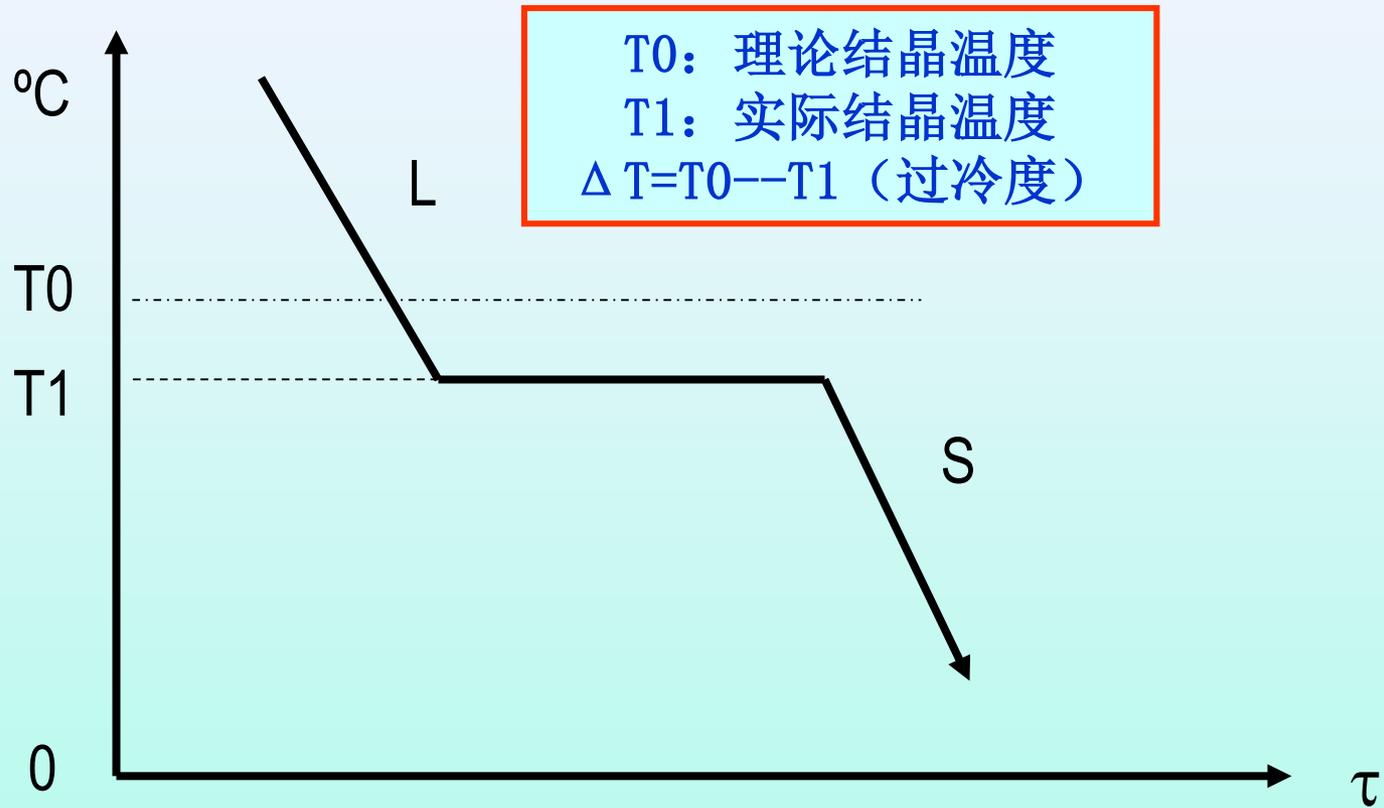


金属的结晶



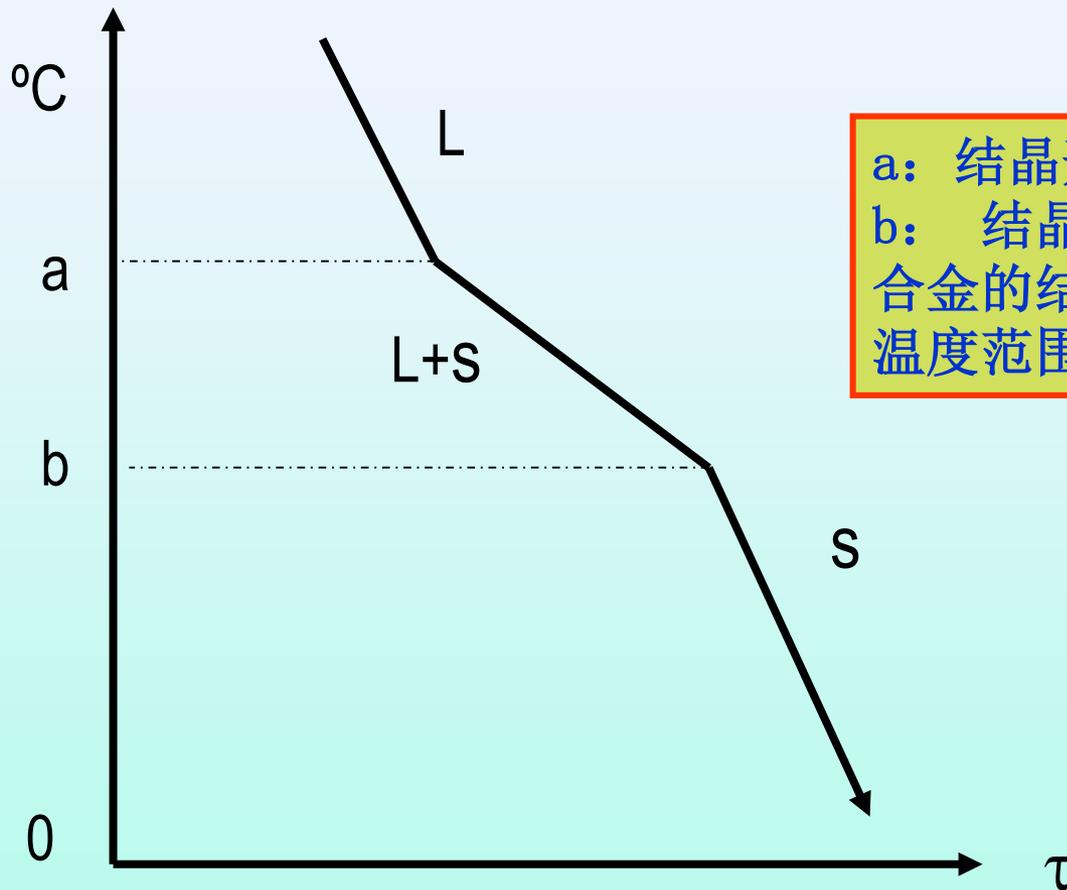
纯金属的冷却曲线（理想状态）

金属的结晶



纯金属的冷却曲线（实际）

金属的结晶



a: 结晶开始点
b: 结晶终了点
合金的结晶是在一个
温度范围内完成。

合金的冷却曲线



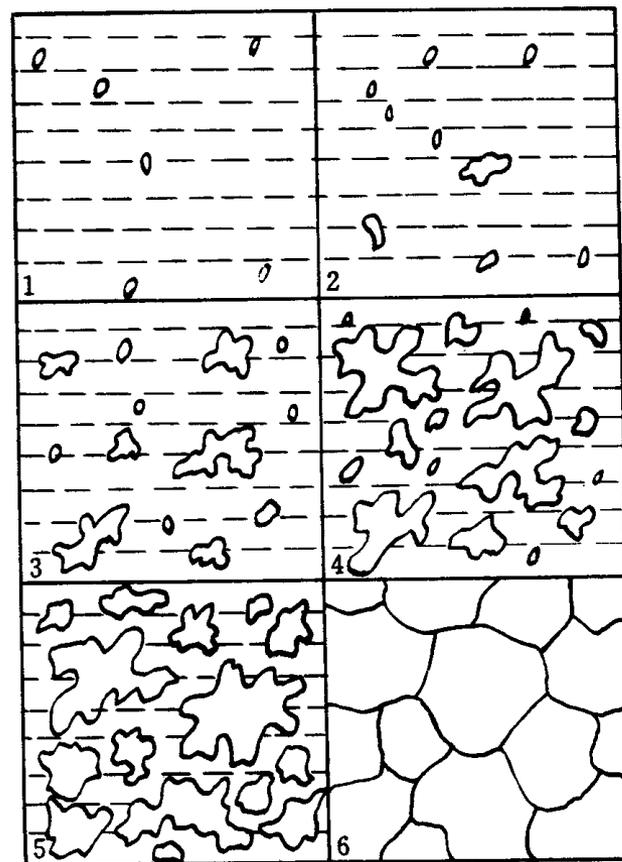
金属的结晶

结晶的必要条件----过冷度

金属的结晶过程:

原子团 \longrightarrow 形核 \longrightarrow 晶核长大

\longrightarrow 小晶粒 \longrightarrow 晶粒 (外形不规则的小晶体)



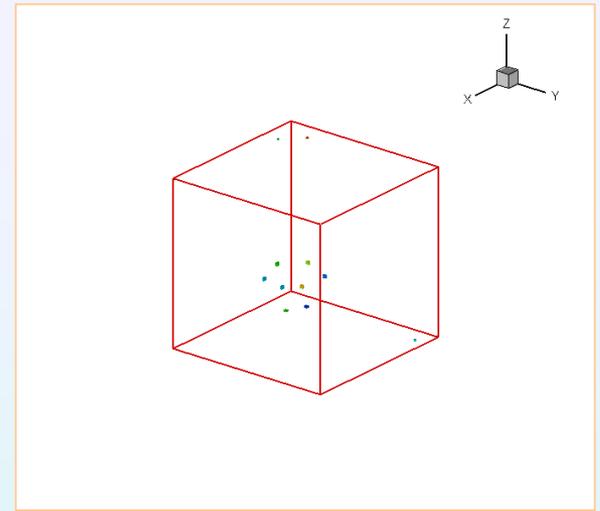
金属结晶过程示意图



形核：自身晶核、外来晶核

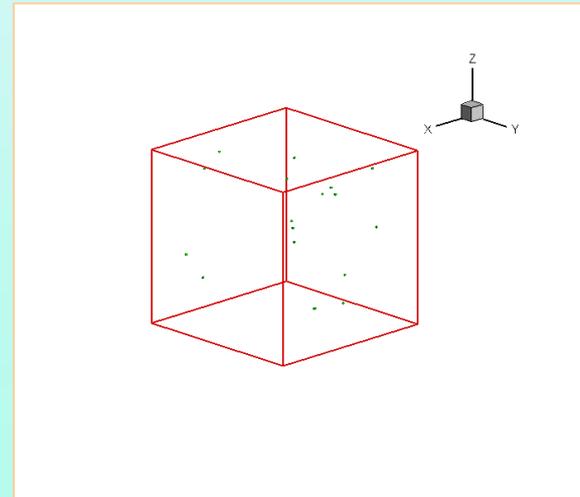
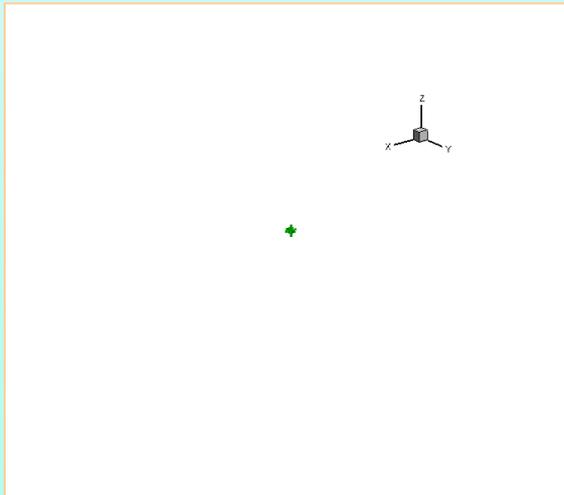
晶核长大方式：树枝状方式

晶界—晶粒间的分界面；



单晶体—结晶方位完全一致的晶体

多晶体—由多晶粒组成的晶体结构



✓细化晶粒的方法

- 增加冷却速度，增大过冷度；
- 增加外来晶核；
- 采用机械、超声波振动、电磁搅拌等；

✓晶粒粗细对材料力学性能的影响

晶粒越细，强度越高，塑性和韧性也越好。



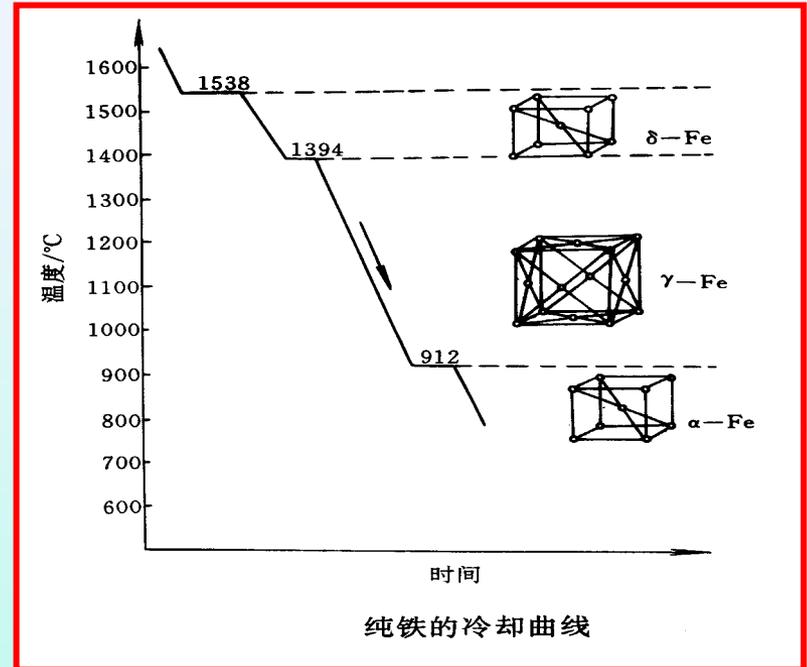
金属的同素异构转变

金属的同素异构转变的概念

金属在固态下，随着温度的改变其晶体结构发生变化的现象。

金属的同素异构转变的意义

可以用热处理的方法即可通过加热、保温、冷却来改变材料的组织，从而达到改善材料性能的目的。



1.3 合金的结构

- ✓ 概念
- ✓ 合金、组元、相；
- ✓ 固溶体：置换固溶体、间隙固溶体；
- ✓ 金属化合物；
- ✓ 固溶强化的概念。

本节要点：研究金属材料的加工工艺，必须了解金属及合金的晶体结构和结晶。



1.3.1 合金的结构——概念

合金：由两种或两种以上的元素通过熔炼后所获得的新的物质仍然具有金属特性。

组元：组成合金的基本元素。

相：凡是成分相同、结构相同并与其他部分有界面分开的均匀组成部分。

例如：单一的液

单一的固相；

液相、固相两相共存；

问题：水、油混装在一个瓶子里，是几个相？
将奶粉加开水冲一杯牛奶又是几个相？



1.3.2 合金的结构——固溶体

固溶体： 由两种组元相互溶解后所组成的新的物质仍然保持其中某一组元的晶体结构。

置换固溶体： A组元的原子取代了B组元的原子。当A、B两个组元的原子直径相差不大时，两个组元可以以任何比例溶解，形成无限固溶体，反之则为有限固溶体。

间隙固溶体： A组元溶入B组元的的间隙中。只能形成有限固溶体。

例如：C溶入 α -Fe或 γ -Fe 所形成的铁素体、奥氏体。



1.3.3 合金的结构——金属化合物

A、B两组元相互溶解后所形成的新的物质既不是A组元的结构，也不是B组元的结构，而是自身的一种独立的结构。

例如：Fe和C所形成的化合物 Fe_3C ，就是一种典型的金属化合物。

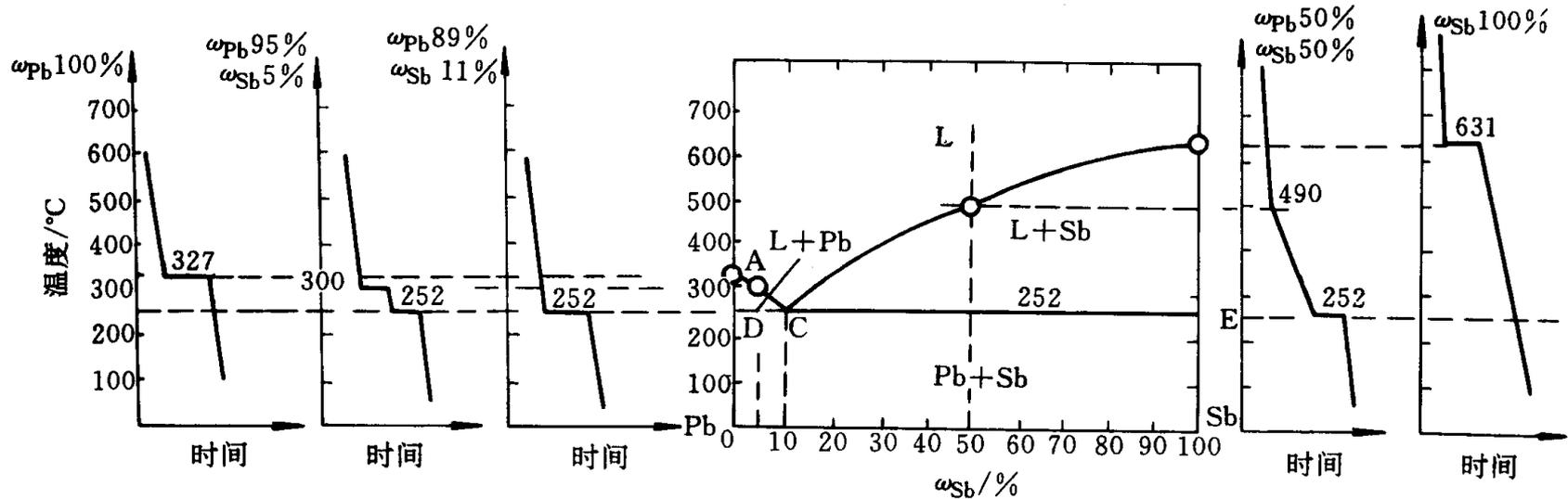
1.3.4 合金的结构——固溶强化

随着溶质原子的增加，所形成的固溶体的强度、硬度升高的现象。

例如：纯铁与钢的用途



1.4 二元合金状态图



Pb-Sb 二元合金相图的测定

把各合金的结晶开始温度点连接起来，即为液相线；把结晶终了温度点连接起来，即为固相线。这样就构成了Pb-Sb二元合金相图。



思考题



- 1 在纯金属的冷却曲线上为什么会出现一水平台阶？
- 2 为什么晶粒越细小其力学性能越好？
- 3 如果结晶时晶核不多而生长速度快，则结晶后的晶粒是粗还是细？

1.5 铁碳合金

本节重点：铁碳合金状态图在铸造、
压力加工、焊接中的应用；

本节难点：铁碳合金状态图的理解；

铁碳合金由于其资源广泛、冶炼方便、价格低廉、性能优越，在工业生产中广泛使用。



1.5.1 铁碳合金的基本组织

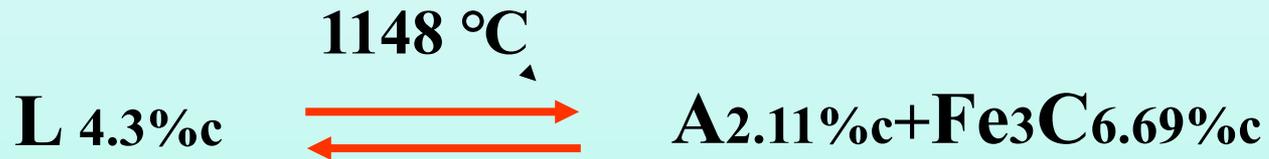
- **铁素体**：碳溶解在 α -Fe中的间隙固溶(F)。塑性($\delta=45-50\%$)、韧性好，强度、硬度低。
- **奥氏体**：碳溶解在 γ -Fe中的间隙固溶体(A)。塑性好。
- **渗碳体**：铁与碳形成的金属化合物(Fe_3C)。硬度很高($\text{HBW}=800$)，塑性、韧性几乎为零。
- **珠光体**：是奥氏体发生共析转变所形成的铁素体与渗碳体的共析体(P)。
- **莱氏体**：是液态铁碳合金发生共晶转变所形成的奥氏体与渗碳体的共晶体(Ld)。硬度高，塑性差。



两种反应：

1、共晶反应

一定成分的液相在一定的温度下同时结晶出两种成分和结构均不相同的固相的反应。



共晶反应的产物即莱氏体



2、共析反应

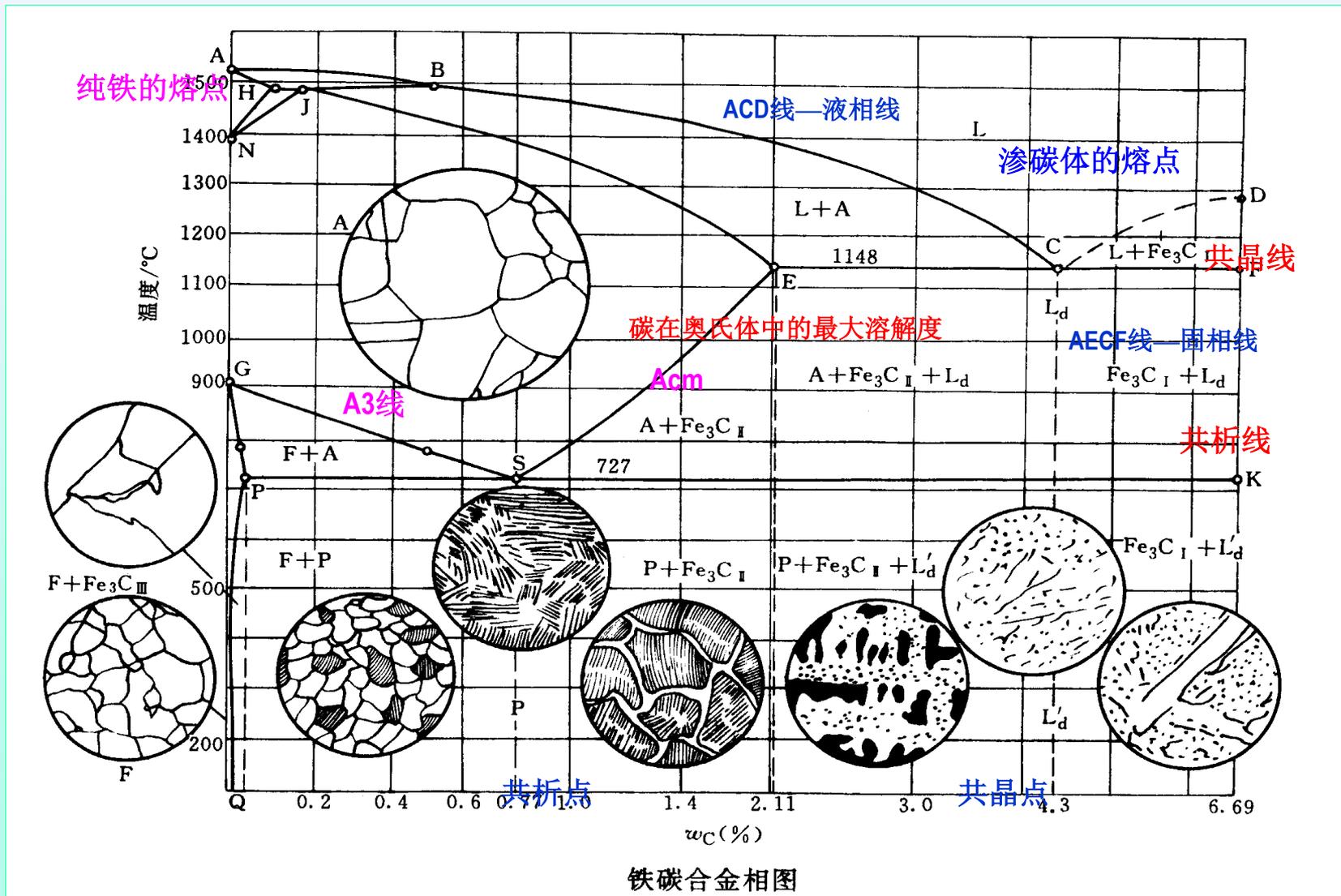
一定成分的固相在一定的温度下同时析出两种成分和结构均不相同的新的固相的反应。



共析反应的产物即珠光体 $\text{P} = \text{F}_{0.02\%c} + \text{Fe}_3\text{C}_{6.69\%c}$



1.5.2 铁碳合金状态图分析



铁碳合金相图中主要特性点的含义

特性点的符号	温度t/ °C	含碳量wc%	含义
A	1538	0	纯铁的熔点
C	1148	4.3	共晶点
D	1227	6.69	渗碳体的熔点
E	1148	2.11	碳在奥氏体中的最大溶解度
G	912	0	$\alpha\text{-Fe} \rightleftharpoons \gamma\text{-Fe}$ 同素异晶转变点
P	727	0.02	碳在铁素体中的最大溶解度
S	727	0.77	共析点
Q	室温	0.0008	碳在铁素体中的溶解度



相图中主要线的含义

- **ACD线—液相线** 是不同成分铁碳合金开始结晶的温度线。
- **AECF线—固相线** 各种成分的合金均处在固体状态。结晶温度终止线。
- **ECF水平线—共晶线** 含碳量为4.3%的液态合金冷却到此线时，在1148 °C由液态合金同时结晶出奥氏体和渗碳体的机械混合物，此反应称为共晶反应。
- **PSK水平线—共析线（A1线）** 含碳量为0.77%的奥氏体冷却到此线时，在727 °C同时析出铁素体和渗碳体的机械混合物，此反应称为共析反应。
- **GS线—（A3线）** 是冷却时奥氏体转变为铁素体的开始线。
- **ES线—称Acm线** 是碳在奥氏体中的溶解度线，实际上是冷却时由奥氏体中析出二次渗碳体的开始线。



典型合金结晶过程分析

铁碳合金

工业纯铁

含碳量小于0.02%的铁碳合金。

钢

含碳量为0.02%—2.11%的铁碳合金。根据金相组织的不同，可分为三种。

共析钢： 含碳量为0.77%；

亚共析钢： 含碳量在0.02%—0.77%之间；

过共析钢： 含碳量在0.77%—2.11%之间；

生铁

含碳量为2.11%—6.69%的铁碳合金。

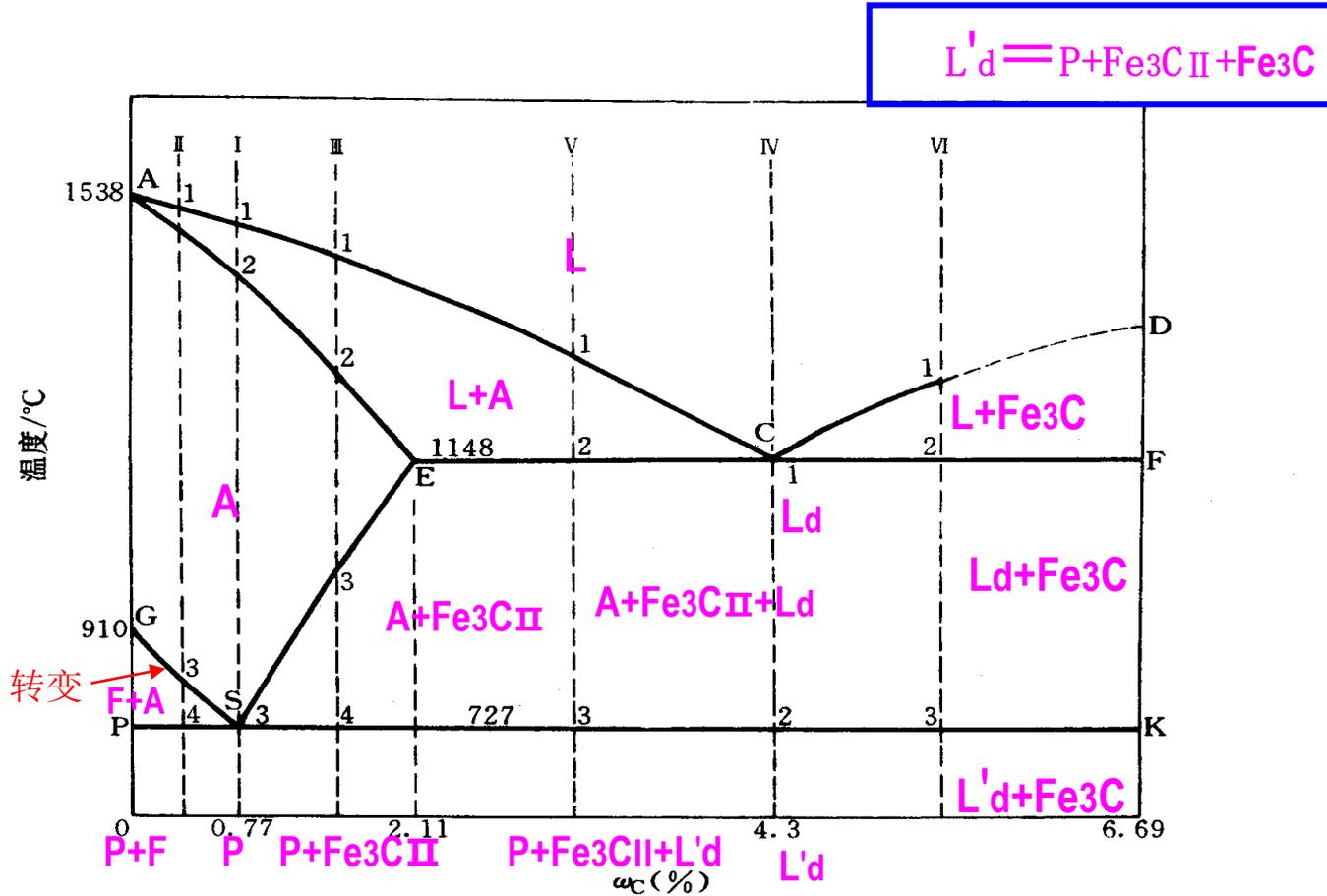
共晶生铁： 含碳量为4.3%；

亚共晶生铁： 含碳量在2.11%—4.3%之间；

过共晶生铁： 含碳量在4.3%—6.69%之间；



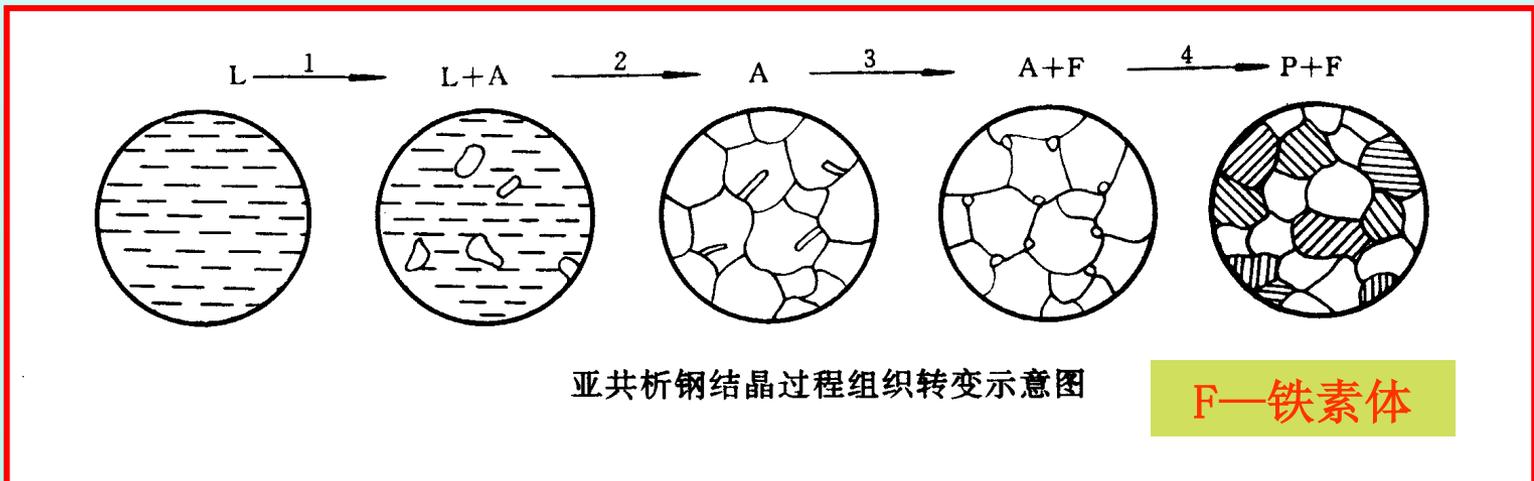
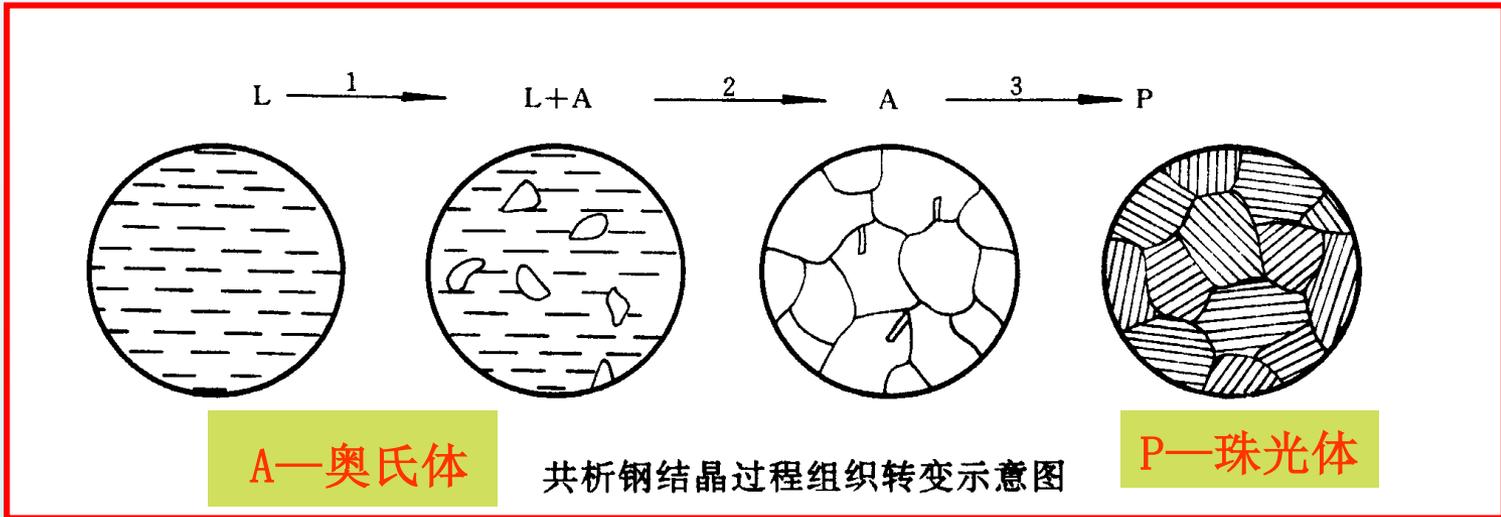
1.5.3 铁碳合金状态图分析



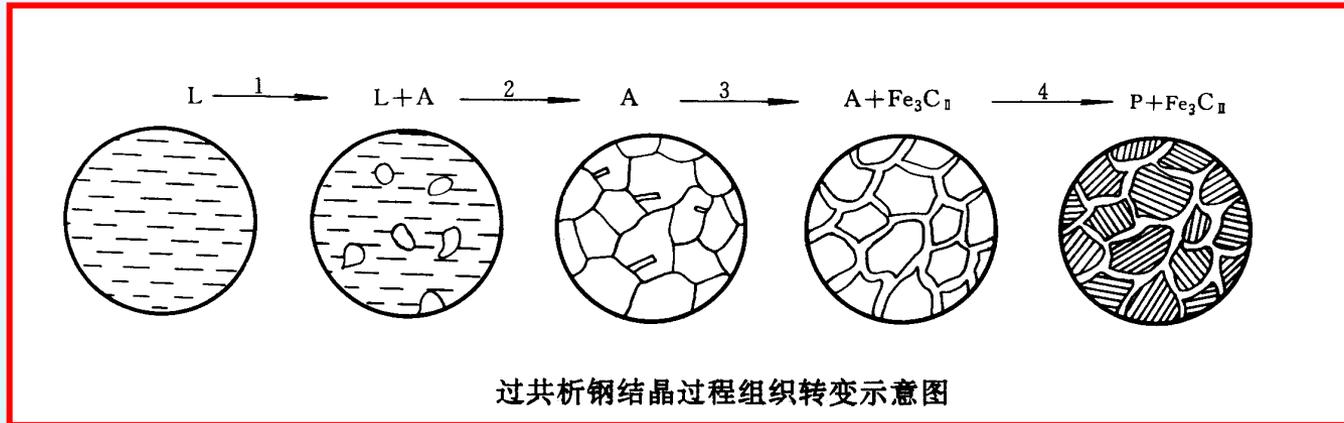
简化的铁碳合金相图上几种典型合金的位置



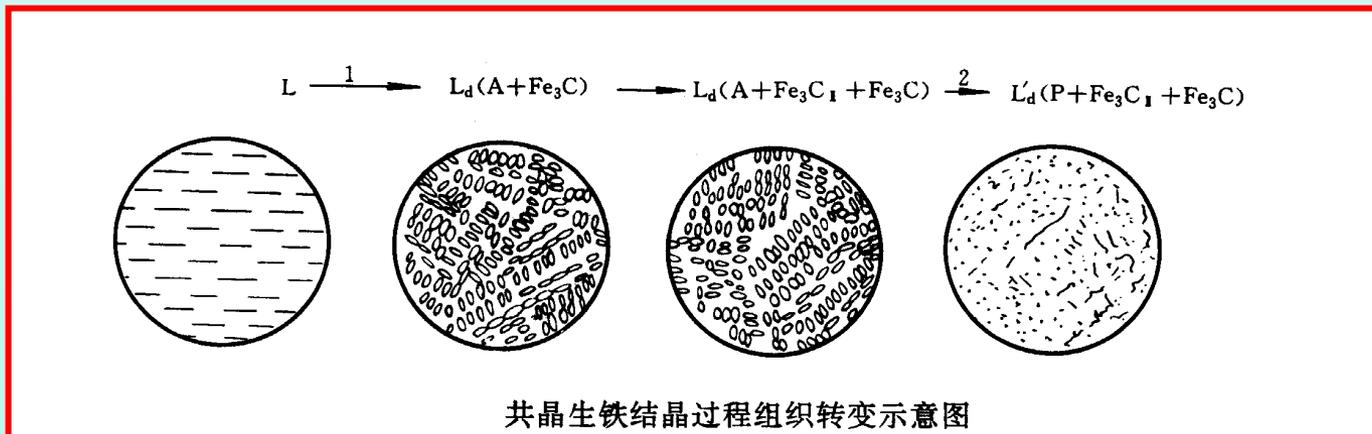
共析钢和亚共析钢的结晶过程分析



过共析钢结晶过程分析

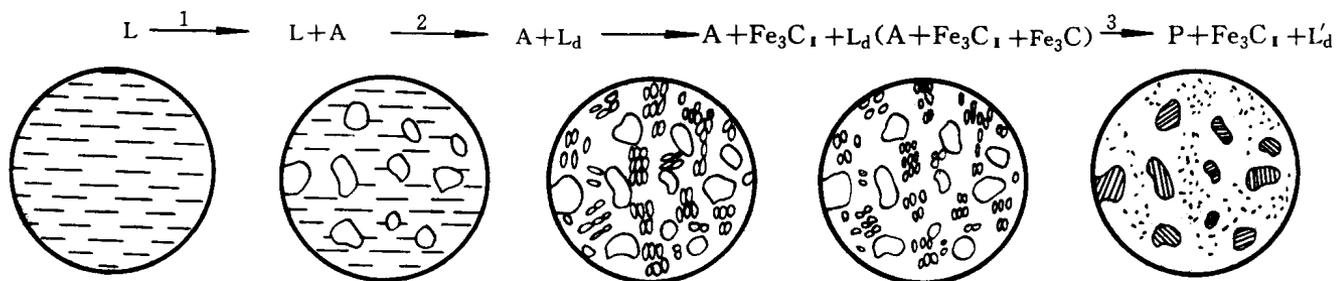


共晶生铁结晶过程分析

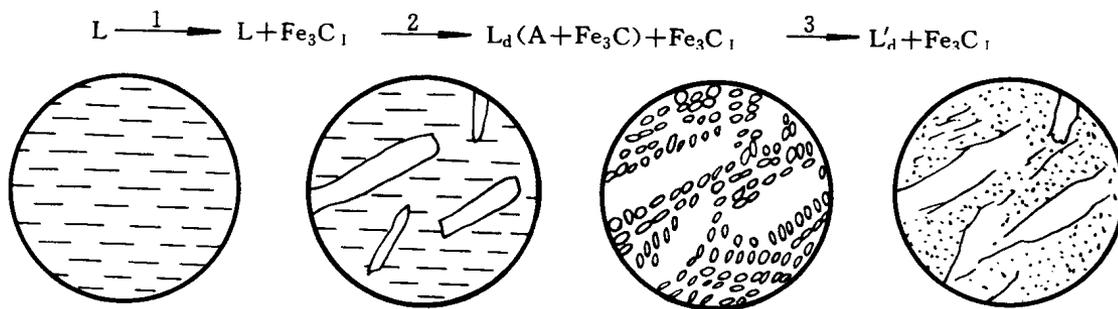


亚共晶、过共晶生铁结晶过程分析

L'd—变态莱氏体



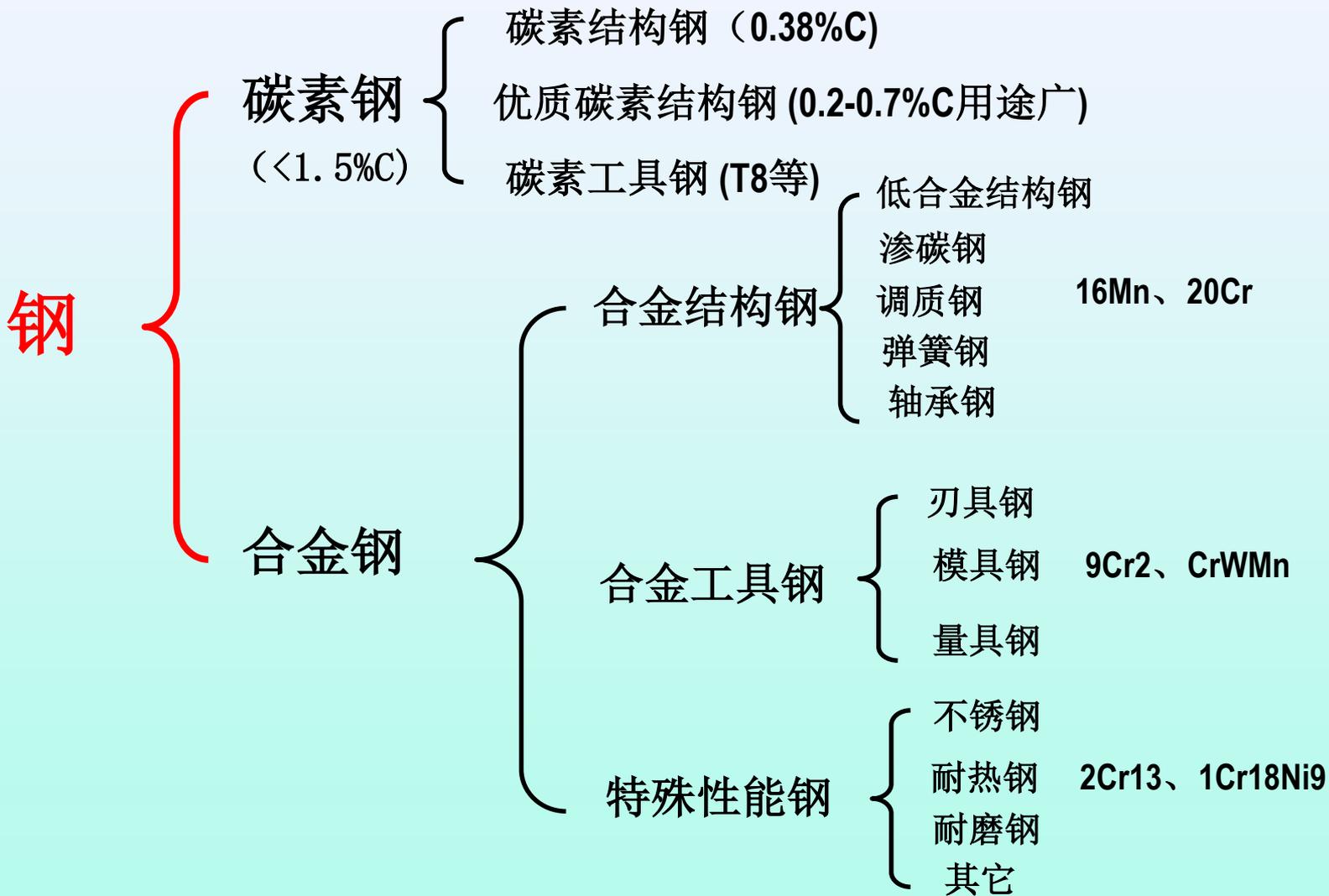
亚共晶生铁的结晶过程及组织变化示意图



过共晶生铁的结晶过程及组织变化示意图



1.6 工业用钢分类及选材



1.7 钢的热处理

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

渗碳

渗氮

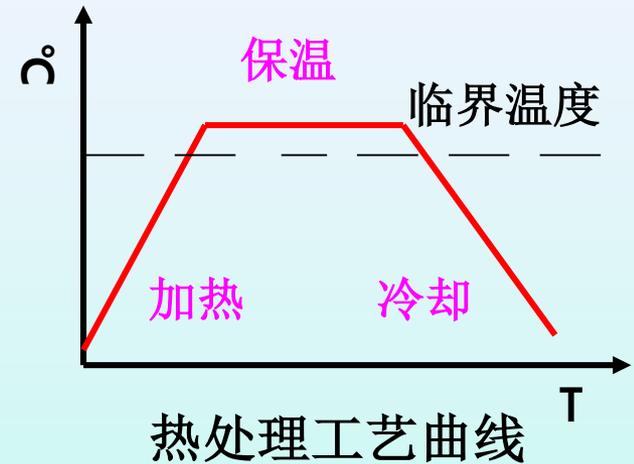
碳氮共渗

其它热处理

形变

真空

激光



1.7.1 退火和正火

退火：

将钢加热、保温，然后随炉冷却或埋入灰中缓慢冷却。

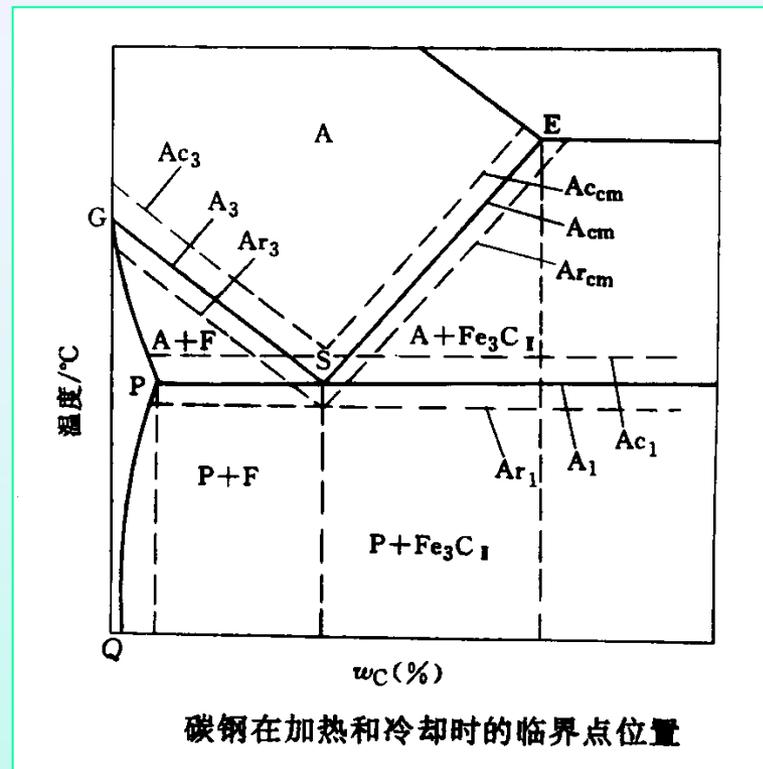
目的：

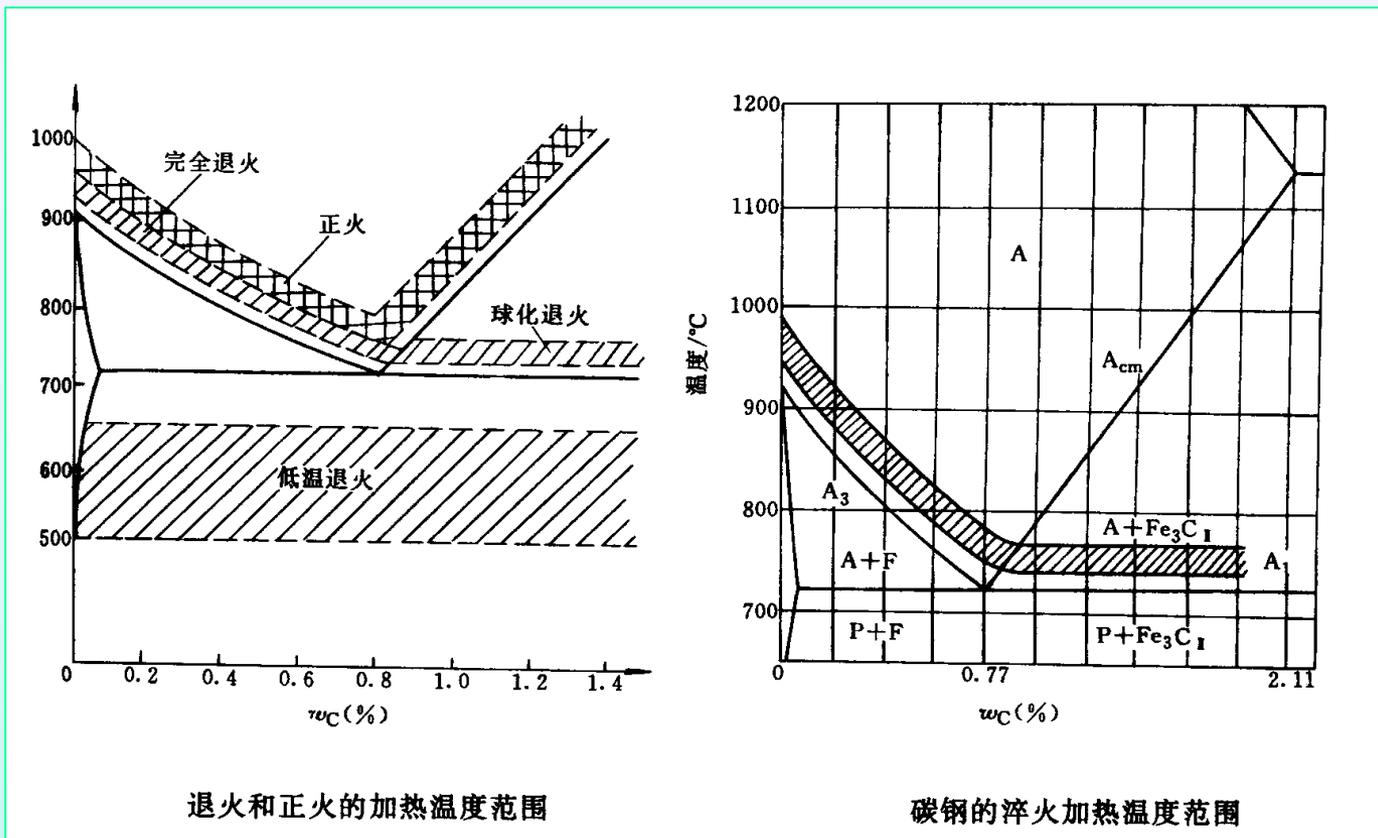
- 降低硬度，便于机加工。
- 细化晶粒，提高塑性和韧性。
- 消除应力。

应用：铸件、锻件、焊接及其它毛坯的热处理。

- 1、完全退火：将亚共析钢加热到Ac3线以上30—50℃，保温后缓慢冷却。
- 2、球化退火：将过共析钢加热到Ac1线以上20—30℃，保温后缓慢冷却。
- 3、低温退火：将钢加热到Ac1线以下，保温后缓慢冷却。

再结晶退火：消除冲压件冷变形所产生的加工硬化（再结晶温度以上150—250℃），降低硬度，恢复塑性。





正火 将钢加热到 A_{c3} 线以上 $30—50\text{ }^{\circ}\text{C}$ （亚共析钢）或 A_{cm} 以上 $30—50\text{ }^{\circ}\text{C}$ （过共析钢），保温后在空气中冷却。得到的是细珠光体组织（索氏体）。

- 应用：**
- (1) 取代部分完全退火；
 - (2) 用于普通结构件的最终热处理；
 - (3) 用于过共析钢，减少或消除网状二次渗碳体，为球化处理作准备。



1.7.2 淬火和回火

将钢加热到Ac3或Ac1 线以上30—50 °C，保温后在淬火介质中快速冷却（ γ —Fe向 α —Fe同素异晶转变），以获得马氏体（M）组织（碳在 α —Fe中的严重过饱和固溶体）。

马氏体形成过程中将伴随着体积膨胀，造成淬火内应力，应采取以下措施：

（1）严格控制淬火加热温度

温度低，硬度低；温度高，晶粒粗大，应力大，易产生裂纹。

（2）合理选择淬火介质 淬透性好，选油淬。

（3）正确选择淬火方法 采用水油双介质淬火法。



回火 将钢重新加热到Ac1 线以上某温度，保温后冷却的热处理工艺。

目的：主要是消除淬火内应力，降低钢的脆性，防止产生裂纹。

回火三种形式：

(1) 低温回火（150—250℃），目的是降低淬火钢的内应力和脆性，并保持高硬度（56—64HRC)和耐磨性。如模具、刃具等。

(2) 中温回火（350—500℃），目的是使钢获得高弹性，并保持较高硬度（35—50HRC)和一定的韧性。如弹簧、锻模等。

(3) 高温回火—调质处理（500—650℃），硬度20—35HRC，强度及韧性等综合性能较好。如连杆、曲轴、齿轮等。

