

金属材料学

Metal Material and Heat Treatment

主讲教师：曾燕屏

第二章

金属材料的固态转变

§ 2-1 钢的加热转变

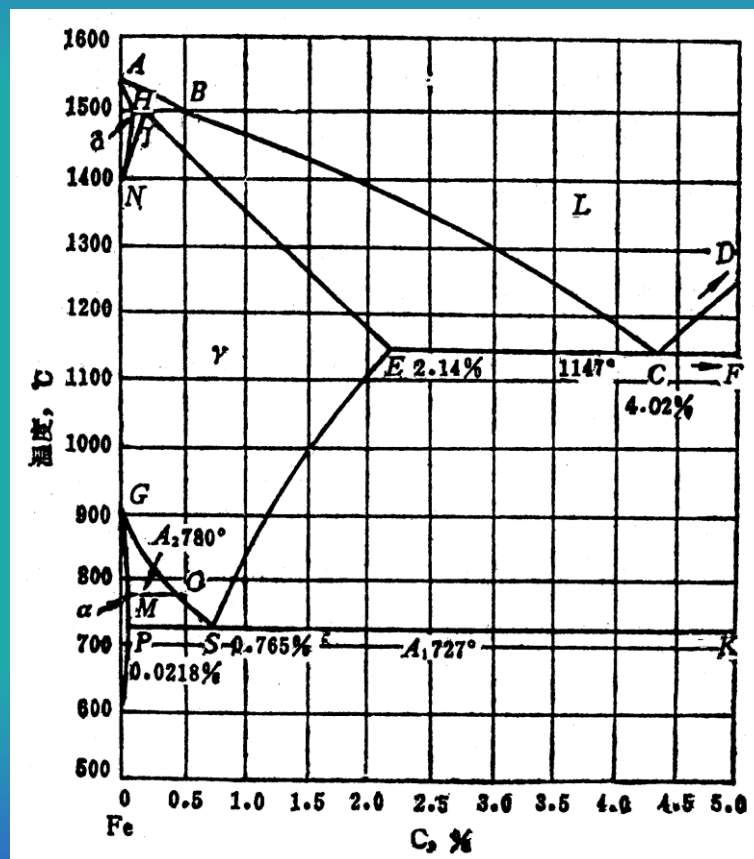


图2-1 铁碳相图

一、奥氏体形成的热力学条件

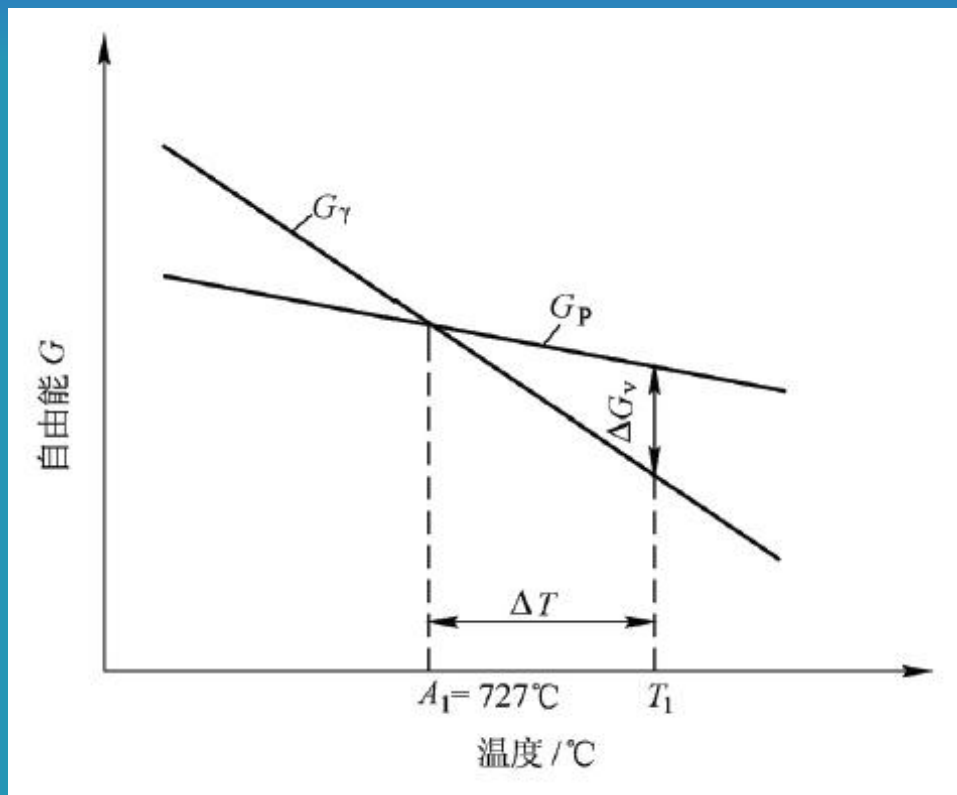


图2-2 共析钢中奥氏体(γ)和珠光体(P)的自由能随温度变化的曲线(示意图)

形成奥氏体核心时，系统总自由能变化 ΔG 为：

$$\Delta G = \Delta G_v + \Delta G_s + \Delta G_e$$

式中：

- ΔG_v 为奥氏体与珠光体之间体积自由能之差；
- ΔG_s 为形成奥氏体核心时所增加的界面能；
- ΔG_e 为形成奥氏体核心时所增加的应变能。

要使珠光体自发地形成奥氏体，必须 $\Delta G \leq 0$ ，即：

$$-\Delta G_v \geq \Delta G_s + \Delta G_e$$

由此可见，奥氏体的形成必须在 A_1 点以上即在一定的**过热度**下才能发生。

同理，冷却时奥氏体向珠光体的转变也必须在一定的**过冷度**下才能发生。

为便于区别起见，通常把钢加热时的临界点加注“C”字，分别写成 A_{C1} 、 A_{C3} 、 A_{Ccm} ；

而把冷却时的临界点加注“r”字，分别写成 A_{r1} 、 A_{r3} 、 A_{rcm} 等。

但 A_{Ccm} 与 A_{rcm} 不常用，通常只写成 A_{cm} ，不再加注表示加热或冷却的字母。

实际热处理时， A_{c1} 、 A_{c3} 、 A_{ccm} (或 A_{r1} 、 A_{r3} 、 A_{rcm}) 点是随加热(或冷却)速度而改变的。

加热(或冷却)速度愈大，这些点偏离平衡位置愈远，即过热度(或过冷度)愈大。

二、奥氏体形成的机理

1. 奥氏体晶核的形成



奥氏体晶核在铁素体和渗碳体相界面处较易形成，其原因为：

(1) 在铁素体和渗碳体两相界面处，碳浓度相差较大，有利于获得形成奥氏体晶核所需的碳浓度；

(2) 在铁素体和渗碳体两相界面处，原子排列不规则，铁原子有可能通过短程扩散由旧相的点阵向新相的点阵转移，促使奥氏体成核；

(3) 在铁素体与渗碳体两相界面处形核是在已有的界面上形核，形核时只是将原有界面变为新界面，总的界面能变化较小，需要消耗的应变能也较小，并且两相界面处畸变能较高。

2. 奥氏体晶体的长大

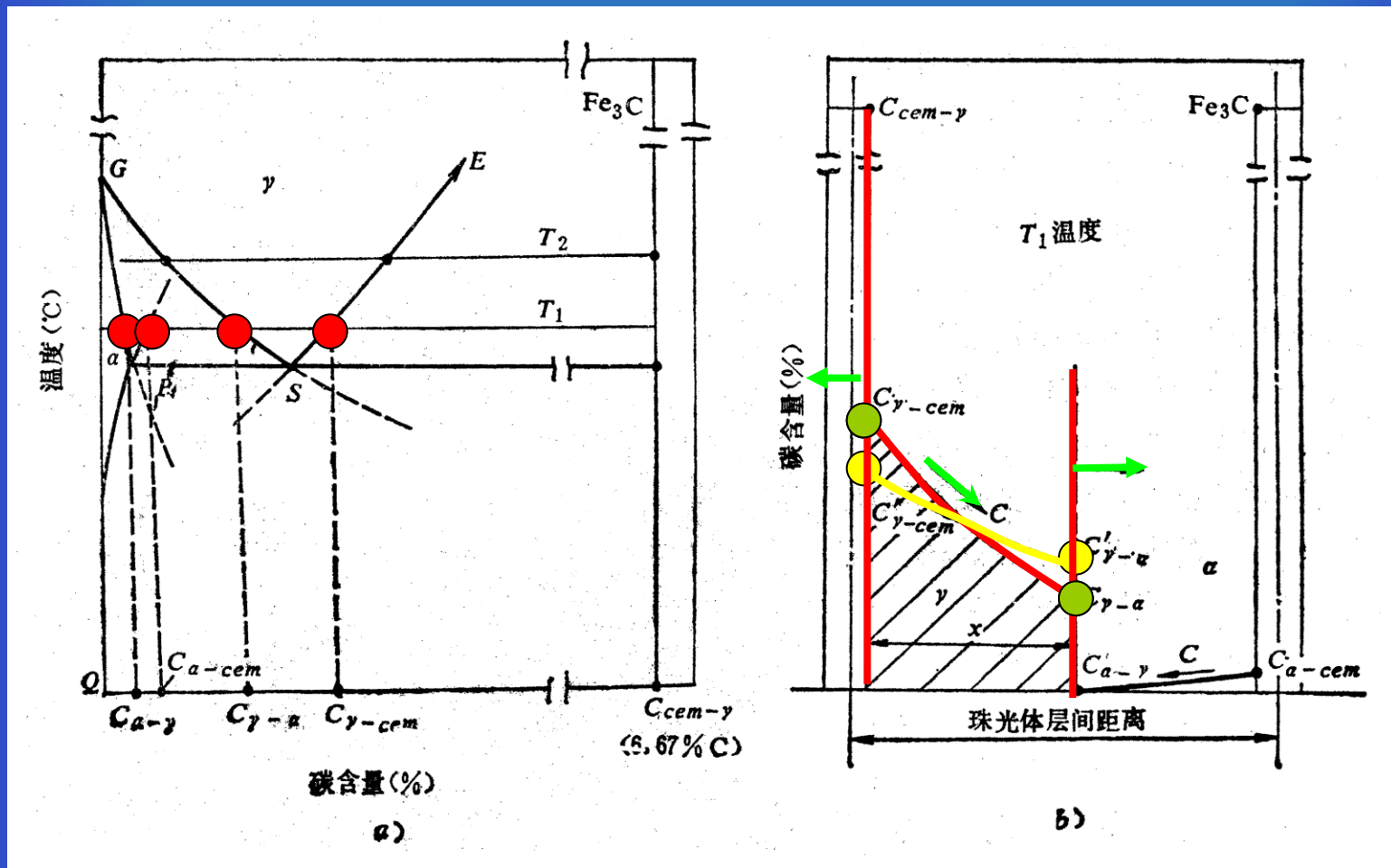


图2-3 共析钢奥氏体形成时各相碳浓度的分布

3. 残留碳化物的溶解

4. 奥氏体成分均匀化

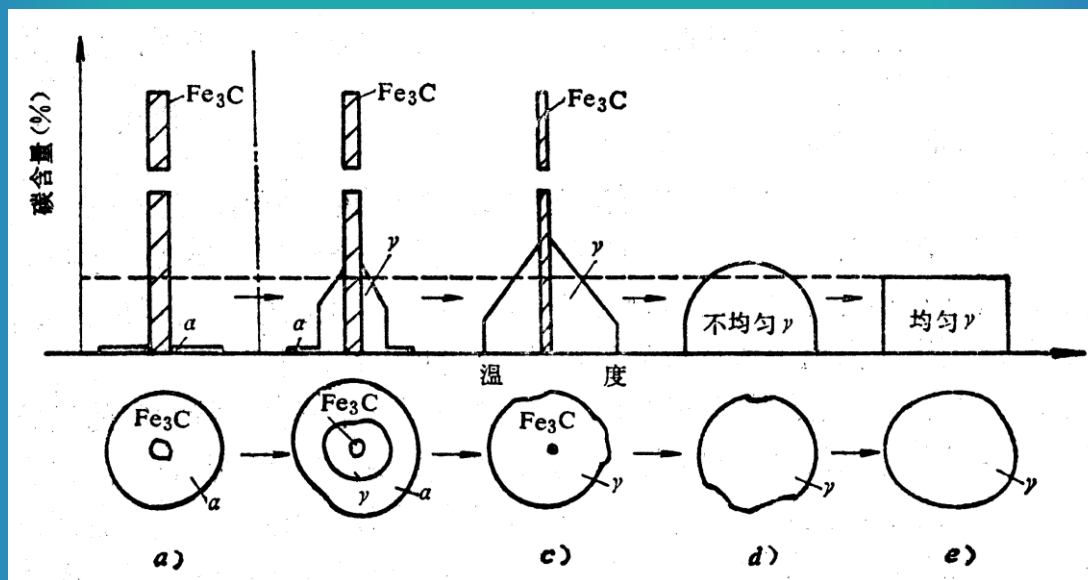


图2-4 珠光体向奥氏体等温转变过程示意图

5. 亚(或过)共析钢中奥氏体的形成

三、奥氏体等温形成动力学

为了获得各温度下奥氏体的形成速度：

- 将共析碳钢小试样迅速加热到 A_{c1} 以上不同温度，如 730°C 、 745°C 、 765°C 、 800°C 等；
- 在每一个温度下保持一系列不同时间，如1、10、40、100、.....s；
- 在盐水中急冷到室温；

- 测出上述各试样中马氏体的数量，这些马氏体量就相当于高温下所形成的奥氏体量。
- 根据所测结果，作出各温度下奥氏体形成量和时间的关系曲线，即为奥氏体等温形成动力学曲线。
- 为便于使用，通常把不同温度下转变相同数量奥氏体所需的时间绘在温度—时间图上，此即为奥氏体等温形成图。



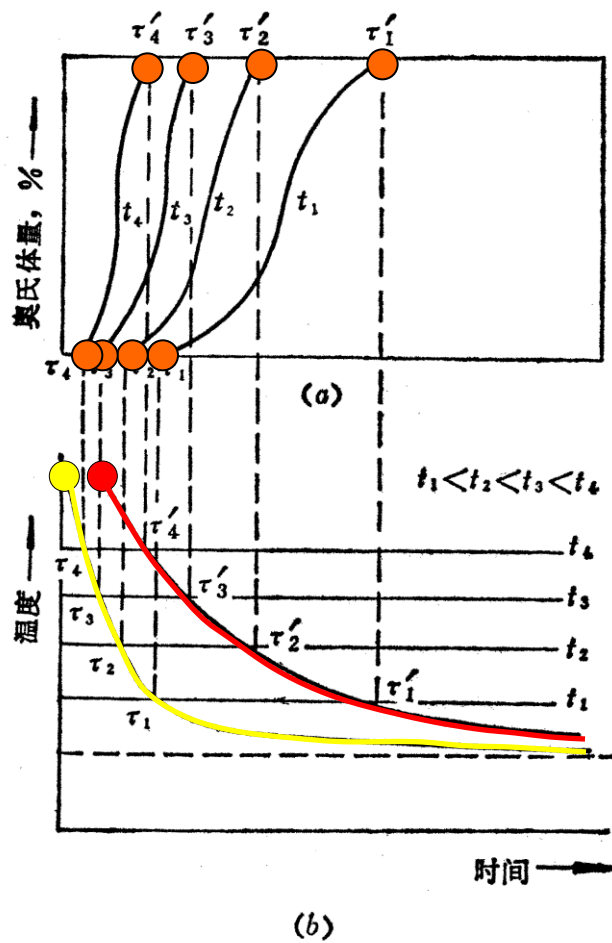


图2-5 奥氏体等温形成动力学曲线(示意图)

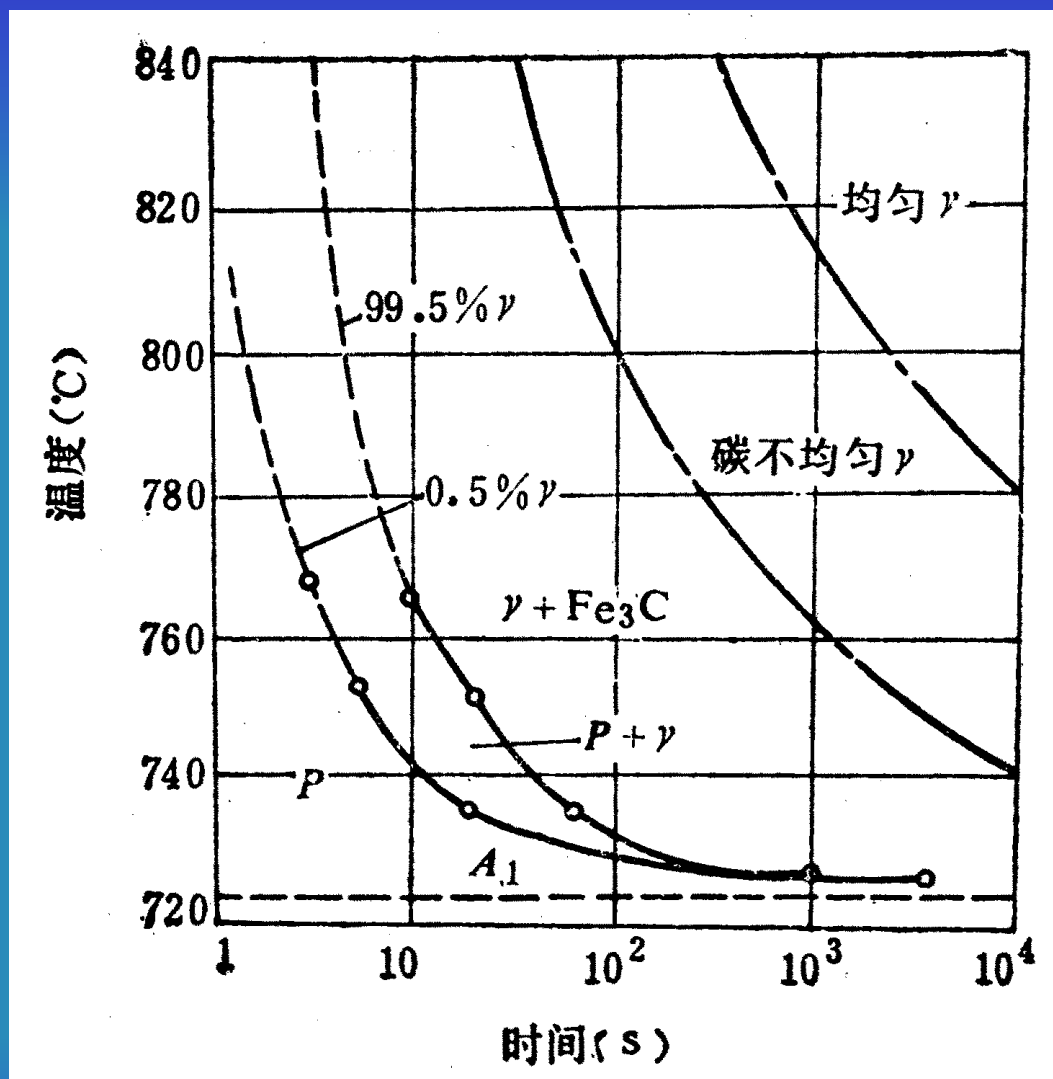


图2-6 共析碳钢奥氏体等温形成图

从图2-5和2-6可以看出：

- (1) 在高于 A_{c1} 温度保温时，奥氏体并不立即形成，而是需要经过一定孕育期之后才开始形成。温度愈高，孕育期愈短。
- (2) 奥氏体形成速度在整个过程中是不同的，开始时速度较慢，以后速度逐渐加大，当奥氏体形成量大于50%以后，速度又开始减慢。
- (3) 温度愈高，形成奥氏体所需要的全部时间愈短，即奥氏体形成速度愈快。
- (4) 在整个奥氏体形成过程中，残留碳化物的溶解，特别是成分均匀化所需的时间最长。

四、奥氏体晶粒长大规律

1. 奥氏体晶粒度

晶粒度是表示晶粒大小的一种尺度，在研究奥氏体晶粒时，首先要区分三种晶粒度的概念。

(1) 初始晶粒度：是指在临界温度以上，奥氏体转变刚刚完成，其晶粒边界刚刚相互接触时的晶粒大小。

(2) **实际**晶粒度：是指在某一具体加热或热加工条件下最终所得的奥氏体晶粒尺寸。

(3) **本质**晶粒度：是根据冶金部标准 YB27-64 规定，将钢加热到 $930 \pm 10^{\circ}\text{C}$ ，保温 3~8 小时后，以适当方式冷却，在室温下测定的高温奥氏体晶粒大小。它表示各种钢奥氏体晶粒的长大趋势。

晶粒容易长大的钢称为**本质粗晶粒钢**，晶粒不容易长大的钢称为**本质细晶粒钢**。

YB27-77晶粒评级标准规定，奥氏体晶粒度分为**八级**，**一级最粗大**，**八级最细小**。如果晶粒比八级还细小，可定为九级、十级等；如果比一级还粗大，可用0级、-1级等表示。

本质晶粒度为5~8级的钢称为本质细晶粒钢；

本质晶粒度为1~4级的钢称为本质粗晶粒钢。

晶粒度级别N与放大100倍时每平方英寸(6.45cm^2)视野中的平均晶粒数n的关系为：

$$n=2^{N-1}$$

2. 奥氏体晶粒长大的机理

奥氏体晶粒的长大过程可分为如下三个阶段：

(1) 孕育期

(2) 不均匀长大期

(3) 均匀长大期

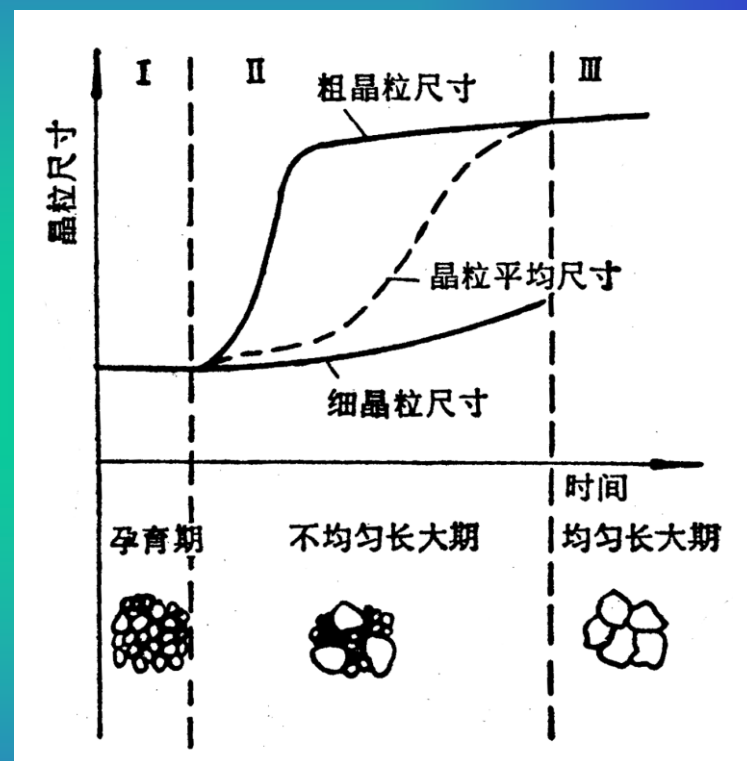


图2-7 奥氏体晶粒长大过程示意图

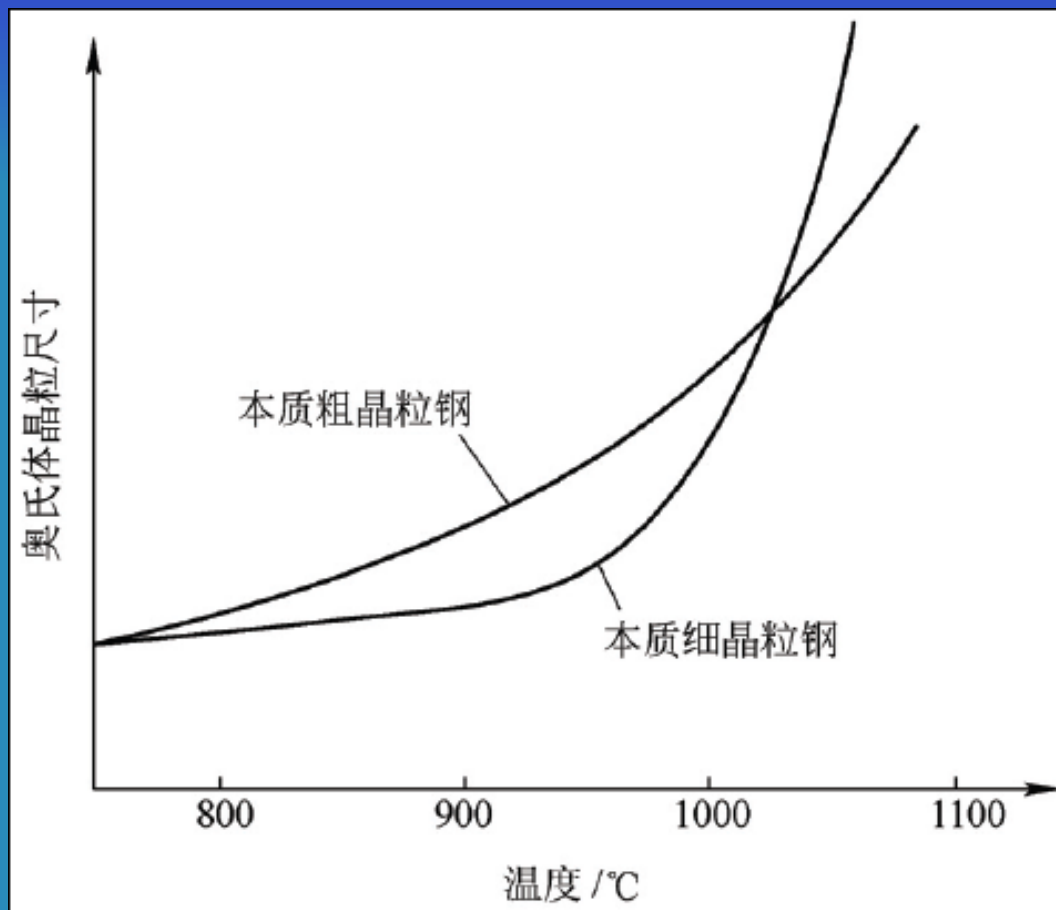


图2-8 本质粗晶粒钢与本质细晶粒钢
奥氏体晶粒长大示意图

五、合金元素对钢加热转变的影响

1. 合金元素对奥氏体形成的影响

(1) 合金元素对碳化物稳定性的影响

- 强碳化物形成元素组成的碳化物(如TiC、NbC、VC)比较稳定，只有在高温下才开始溶解，且溶解速度较慢；
- 强碳化物形成元素溶于弱碳化物中，可提高弱碳化物的稳定性，升高其开始溶解温度；

- 强碳化物形成元素对奥氏体的形成有一定的阻碍作用。

- 弱碳化物形成元素组成的碳化物(如 $M_{23}C_6$ 、 M_7C_3 、 M_3C)稳定性差，极易溶于基体；

- 弱碳化物形成元素溶于强碳化物中，可降低强碳化物的稳定性和开始溶解温度；

- 弱碳化物形成元素对奥氏体形成的阻碍作用较小，有时甚至加速奥氏体的形成。
- 中强碳化物形成元素组成的碳化物(如 M_2C)，其稳定性介于强碳化物与弱碳化物之间，故中强碳化物形成元素对奥氏体的形成有一定的阻碍作用。

(2) 合金元素对碳在奥氏体中扩散的影响

- 碳化物形成元素钒、钨、钼、铬对奥氏体的形成有一定的阻碍作用。
- 非碳化物形成元素镍、钴等对奥氏体的形成有一定加速作用。
- 硅、铝等元素对奥氏体的形成速度没有太大影响。
- 合金元素的存在将使奥氏体成分均匀化过程大为减速。

2. 合金元素对奥氏体晶粒长大的影响

- 钢中加入磷、锰(高碳时)元素会促进奥氏体晶粒长大；
- 加入铝、钛、铌、钒等元素会强烈阻止奥氏体晶粒长大；
- 加入钨、钼等元素会中等阻止奥氏体晶粒长大。

思考题

1. 解释下列材料专业符号： A_{C1} 、 A_{C3} 、 A_{r1} 、 A_{r3} 、 A_1 、 A_3 、 A_{cm} 。
2. 简述退火态共析碳钢在加热过程中奥氏体形成的机理。
3. 试分析奥氏体的三种晶粒度之间的关系与差别。
4. 何谓本质细晶粒钢？本质细晶粒钢的奥氏体晶粒是否一定比本质粗晶粒钢的细？为什么？
5. 试述影响钢加热转变时奥氏体晶粒大小的因素。