

第七次作业-固态相变部分

张锦程 2018012082 材 84

作业说明

课本11-1, 3, 12, 13, 15, 16, 12-7

(11-15. 题目中“原子最大间距”改为“原子最小间距”。)

注意，本次作业选交，也不记入最终成绩！

11-1 说明下列名词或概念的物理意义：

(1) **一级相变和二级相变**：一级相变发生时界面两侧的自由能相等(平衡时)，但是自由能对温度和压强的一阶偏导数不相等，二阶偏导数也不相等，因此 S 和 V 发生变化；而二级相变只有二阶偏导数的变化，因而无体积效应和热效应，但是材料的压缩系数和膨胀系数发生变化；

(2) **共格和非共格界面**：共格界面两边为两相，两相具有接近的原子排列和原子间距，从而使得界面上原子同时处于两相晶格结点上(在界面处相互吻合)，这种界面称为共格界面；非共格界面两侧晶体结构和原子间距相差较大，界面原子混乱而无序，不相吻合；

(3) **失配度**：

$$\delta = \frac{a_{\alpha} - a_{\beta}}{a_{\alpha}} \quad (1)$$

(4) **过冷度**：理论结晶温度与实际的结晶温度的差值；

(5) **临界形核功**：在晶核临界半径时，从液体中生出晶核所引起的吉布斯自由能变化；

(6) **脱溶**：固溶体的溶质浓度超过当前状态下的溶解度，从而发生偏聚，并沉淀析出新相的现象；

(7) **形核长大**：在母相中出现许多有序排列的小原子团（新相），称之为晶胚，晶胚可以长大，其大小超过晶核临界半径后，就成为可以稳定存在并自发长大的晶核，这一过程称为形核；

(8) **调幅分解**：无核相变和扩散相变的一种，新相的形成以成分涨落作为开端，通过上坡扩散，浓度振幅不断增加，最后分解为结构相同而成分呈周期性波动的非均匀固溶体，不存在明显的相界面；

(9) **亚稳相和平衡相**：虽不最稳定、但却是相对稳定的相，对应于自由能曲线的极值点，但非最小值点（平衡相则应于最小值点）；

(10) **等温转变曲线**：过冷奥氏体在不同过冷度下保持等温，此时转变产物所占的百分数（转变开始及转变终止）随时间变化的关系曲线；

(11) **连续冷却转变曲线**：过冷奥氏体在连续冷却条件下，转变产物所占的百分数（转变开始及转变终止）随时间变化的关系曲线；

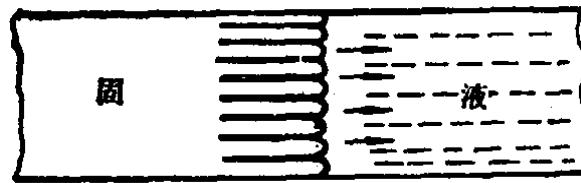
(12) **共析转变**：即两种或以上的固相（**新相**），从同一固相（**母相**）中一起析出，而发生的相变；

(13) **先共析转变**：亚共析钢和过共析钢在共析转变之前发生的转变，先共析相可以是固溶体，也可以是金属化合物。如果是固溶体，则多为等轴晶粒；若为金属化合物，则多以点状或网状形式分布于原固溶体的晶界处；

(14) **珠光体转变**：过冷奥氏体在接近 A_{r1} 温度（高温转变）时，同时析出铁素体和渗碳体（或合金碳化物）两相构成珠光体组织（层片状机械混合物）的一种扩散型一级相变；

(15) **贝氏体转变**：是中温等温转变，过冷奥氏体在珠光体转变和马氏体转变温度之间的转变，生成贝氏体；

(16) **胞状转变**：合金在结晶时，如果在液相与固相界面前沿仅存在较小的成分过冷，则不能稳定地进行平面长大，但又不足以长成树枝晶。这时，界面上的一些偶然的凸起部分可以伸入液相长大，使向液相推进的界面变成一种凹凸不平、类似胞状的形态，最后长成胞状组织。胞状组织由一系列平行的棒状晶体组成，它们沿着结晶方向生长（见图18），在胞状组织的交界面上，常常存在溶质组元的富集或贫化现象；



(17) **颗粒粗化**：又称奥斯特瓦尔德熟化(Ostwald ripening)，由于新相—母相间界面能的驱动，新相中较大颗粒吞并较小颗粒，使新相组织变得粗大的过程；

(18) **惯析面**：由其内部晶体结构确定的晶体外形及析出相的最大截面所处的母相的晶面或晶面系，在相变中，新相在母相的特定面上形核长大，这种特定的晶面不畸变、不转动、大小方向均不改变，是不变的平面相变界面，在其上新相与母相之间保持共格关系；

惯析及惯析面的出现是界面能在结晶及相变过程中作用的结果。即惯析形态使晶体表面能及脱溶相与基体之间的界面能尽量低。在相变中，新相在母相的特定面上形核长大，这种特定的晶面不畸变、不转动、大小方向均不改变，是不变的平面相变界面，在其上新相与母相之间保持共格关系。

(19) **魏氏组织**：先共析相沿过饱和母相的特定晶面析出，在母相中呈片状或针状特征分布的组织；

(20) **长程有序**：质点有规则排列的范围较大，是整体性的有序现象，晶体内部质点呈周期性地规则排列，例如各种晶体。

(21) **短程有序**：又称近程有序。指质点的规则排列只在很小的范围内存在，是局部的有序现象。例如石英玻璃和各种非晶态固体，它们的物理性质的数值都与观测方向无关（各向同性）；

(22) **反相畴界**：在有序固溶体晶体中，不同组元原子所占据的点阵位置相反的相邻区域的边界，是一种面缺陷；

11-3 固态相交时，设单个原子的体积自由能变化为 $\Delta G_V = -200\Delta T/T_C$ ，单位为

J/cm^3 ，临界转变温度 $T_C = 1000K$ ，应变能 $\Delta G_\epsilon = 4J/cm^3$ ，共格界面能

$\sigma_{\text{共格}} = 4 \times 10^{-6} J/cm^2$ ，非共格界面能 $\sigma_{\text{非共格}} = 4 \times 10^{-5} J/cm^2$ 。非共格时可忽略应变

能，试计算

(1) $\Delta T = 50^\circ C$ 时的临界形核功 $\Delta G_{\text{共格}}^*$ 与 $\Delta G_{\text{非共格}}^*$ 之比；

(2) $\Delta G_{\text{共格}}^* = \Delta G_{\text{非共格}}^*$ 时的 ΔT 。

(1) 共格时：

$$\Delta G_{\text{共格}}^* = \frac{16\pi \times \gamma_{\alpha\beta}^3}{3(G_V + \Delta G_e)^2} = 2.9787 \times 10^{-17} J \quad (2)$$

非共格时：

$$\Delta G_{\text{共格}}^* = \frac{16\pi \times \gamma_{\alpha\beta}^3}{3(G_V)^2} = 1.072 \times 10^{-14} J \quad (3)$$

$\Delta G_{\text{共格}}^*$ 与 $\Delta G_{\text{非共格}}^*$ 之比 = 2.78×10^{-3}

(2) 令 $\Delta G_{\text{共格}}^* = \Delta G_{\text{非共格}}^*$ 得：

$$\Delta G_{\text{共格}}^* = \frac{(4 \times 10^{-6})^3}{(\frac{-200\Delta T}{1000} + 4)^2} = \frac{(4 \times 10^{-5})^3}{(\frac{-200\Delta T}{1000})^2} \quad (4)$$

解得 $\Delta T = 20.653^\circ\text{C}$

11-12 一显微组织中的碳化物形状如图所示，试推断经一定时间的高温扩散后，碳化物将取什么形状？

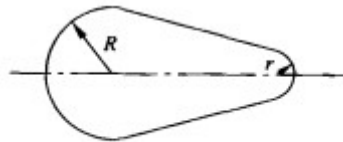


图 11-105 碳化物起始形状

会变成更接近球的形状，其半径大于 R ，因为颗粒半径越小，溶质原子化学势越高，因此溶质原子从小颗粒向大颗粒扩散，该粒子的小头会继续缩小，大头会继续扩大。

11-13 固态相变过程中 t 时间后形成新相的体积分数： $\chi = 1 - \exp(-\frac{\pi}{3} \dot{N} G^3 t^4)$ ，已知形核率 $\dot{N} = 1000/(cm^3 \cdot s)$ ， $G = 3 \times 10^{-5} cm/s$ ，试计算：

(1) 相变速度最快时的时间；

$$\text{求导得：} \frac{\partial \chi}{\partial t} = \frac{4\pi}{3} \dot{N} G^3 t^3 \exp(-\frac{\pi}{3} \dot{N} G^3 t^4)$$

$$\frac{\partial^2 \chi}{\partial t^2} = (\frac{4\pi}{3} \dot{N} G^3)(3t^2 - \frac{4\pi}{3} \dot{N} G^3 t^6) \exp(-\frac{\pi}{3} \dot{N} G^3 t^4)$$

$$\text{令 } \frac{\partial^2 \chi}{\partial t^2} = 0 \text{ 得：} t_{\max} = \sqrt[4]{\frac{9}{4\pi \dot{N} G^3}} = 403.57 \text{ s}$$

(2) 过程中的最大相变速度；

$$\text{代入 } t_{\max} \text{ 得：} \frac{\partial^2 \chi}{\partial t^2} = \frac{4\pi}{3} \dot{N} G^3 t^3 \exp(-\frac{3}{4}) = 35.11 \mu m/s$$

(3) 获得 50% 转变量所需的时间。

$$\text{令 } \chi = 0.5 \text{ 得：} t_{\frac{1}{2}} = \sqrt[4]{\frac{3 \ln 2}{\pi \dot{N} G^3}} = 395.69 \text{ s}$$

11-15 Al (FCC, 原子最大间距为 0.3nm) 基固溶体中，空位的平衡浓度 (n/N) 在 550°C 时为 2×10^{-4} ，而在 130°C 时可以忽略不计

(1) 如果所有空位都构成 G.P 区的核心, 求单位体积中的核心数目;

$$\rho = \frac{n}{N} \times \frac{N}{V} = 2 \times 10^{-4} \times 2^{\frac{3}{2}} \times 0.081 \times 10^{27} / m^3 = 4.582 \times 10^{22} / m^3$$

(2) 计算这些核心的平均距离。

$$\bar{r} = \sqrt[3]{\frac{1}{\rho}} = 2.795 \times 10^{-8} m$$

12-7 画出 T8 钢的奥氏体等温转变曲线。为了获得以下组织,应采用什么冷却方法,并在等温转变曲线上描画出冷却曲线示意图:

(1) 索氏体与珠光体混合组织: 空冷

(2) 屈氏体 + 马氏体 + 少量残余奥氏体: 油冷

(3) 全部下贝氏体: 中温保温

(4) 屈氏体+下贝氏体+马氏体+残余奥氏体: 分级油冷

(5) 马氏体+少量残余奥氏体: 水冷

(6) 回火马氏体+下贝氏体+马氏体+残余奥氏体: 分级油冷+淬火+低温回火

