

第5章 凝固习题

1. 估计 1cm^3 的铜在熔点温度含 10 个原子和 60 个原子的原子团数目。液态下铜原子体积为 $1.6 \times 10^{-29} \text{m}^3$, σ_{SL} 为 $0.177 \text{J} \cdot \text{m}^{-2}$, $T_{\text{m}}=1356\text{K}$ 。
2. 镍的平衡熔点为 1728K , 固相的 $V_{\text{S}}=6.6\text{cm}^3/\text{mol}$, 液/固相界面能 $\gamma=2.25 \times 10^{-5} \text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$, 如球形粒子半径是 1cm 、 $1\mu\text{m}$ 、 $0.01\mu\text{m}$ 时, 熔点各降低多少? 设 $\Delta H=18066\text{J}/\text{mol}$ 。
3. 镍在获得过冷度为平衡熔点(K)的 0.18 倍时均匀形核, 问在大气压下的平衡熔点温度下能均匀形核所要求的压力多大? 凝固的体积变化为 $\Delta V=-0.26\text{cm}^3/\text{mol}$ 。
4. 为什么 r_{max} 会随过冷度 ΔT 而变?
5. 证明无论对非均匀形核和均匀形核下式均成立: $\Delta G^* = \frac{1}{2} V^* |\Delta G_{\text{V}}|$
6. 讨论铸模壁的裂缝在表面的张角在非均匀形核中的作用。裂缝在表面张口宽度如何影响非均匀形核?
7. 金的 $T_{\text{m}}=1336\text{K}$, $\gamma_{\text{SL}}=0.132$, $\gamma_{\text{LV}}=1.128$, $\gamma_{\text{SV}}=1.400\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$, 其中下标 S、L 分别表示固相和液相, V 表示气相。说明金可在 T_{m} 以下熔化。(熔化潜热为 $1.2 \times 10^9 \text{J} \cdot \text{m}^{-3}$)。
8. 证明熔化熵 $\Delta S=4R$ (R 为气体普适常数) 时固液界面以粗糙界面最稳定, 设 $\xi=0.5$ 。

9. 式(5-25)中的晶体学因子 $\xi = \frac{\eta}{z}$, η 为表面层最近邻原子数, z 为固体内部原子的最近邻原子数。界面指数越高, ξ 越小。对面心立方金属, ξ 最大为 0.5, 如何用熔化熵判别液固界面的类型。

10. 一个铝锭厚 25cm, 在无过冷的情况下注入砂模。假设模/金属间的热阻和固态金属/液态金属间的热阻可以忽略不计。

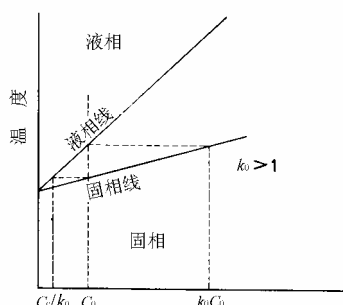
a) 若砂模很薄 (设 3cm), 砂模外侧温度保持 300K, 砂模很快建立平稳态传热, 问多长时间这个锭可以完成凝固。

b) 若砂模很厚, 凝固只靠砂模导热进行。问多长时间这个锭可以完成凝固。铝的熔点 $T_m = 933\text{K}$, 熔化潜热 $\Delta H = 3.97 \times 10^5 \text{J/kg}$, 铝的密度 $\rho_m = 2.7 \times 10^{-3} \text{kg/cm}^3$, 砂型的比热 $c_{pm} = 1.13 \times 10^3 \text{J/kg} \cdot \text{K}$, 砂型的热导率 $\kappa_m = 6.06 \times 10^{-3} \text{W/cm} \cdot \text{K}$, 密度为 1.58g/cm^3 。

11. 铝在钢模中超高速冷却, 钢模保持 300K, 钢模/金属间的界面热阻为 $0.24 \text{cm}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$, $\kappa_{\text{Al}} = 2.2 \text{W} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 。假定传热为界面控制 (即牛顿冷却), 问液/固界面推移速度是多大? 这种情况是否符合原假设的界面控制传热? (可采用上题的数据)

12. 画出 $k_0 > 1$ 时和图 5-31 对应的 a 、 b 、 c 、 d 各线。

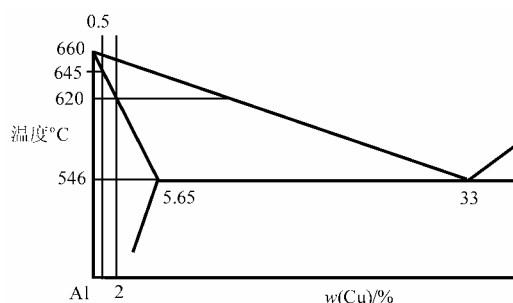
相图如下图所示。 C_0 成分的熔体, 凝固后的浓度分布如右下图所示。其中 a 线是在固、液相中完全扩散、 b 线是液相中完全混合、 c 是在液相中仅有溶质扩散、 d 线是液相中溶质部分混合的情况。



为 $5 \mu\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

a) $w(\text{Cu}) = 0.5\%$ 的 Al-Cu 合金在平稳态下凝固时界面温度是什么? 扩散层 (即溶质

13. Al-Cu 相图可简化为: $T_m(\text{Al}) = 660^\circ\text{C}$, 共晶温度 $T_E = 546^\circ\text{C}$, 铜在铝中的最大溶解度 $w(\text{Cu}) = 5.65\%$, 共晶成分 $w(\text{Cu}) = 33\%$, 固、液相线均为直线。液相中铜的扩散系数 $D_L = 3 \times 10^{-9} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, 设合金在无对流的条件下凝固, 液/固界面是平面的, 界面推移速度



富集的特征距离)厚度是多大?为了保持平面界面,根据组分过冷判据估算液相温度梯度应为多大。

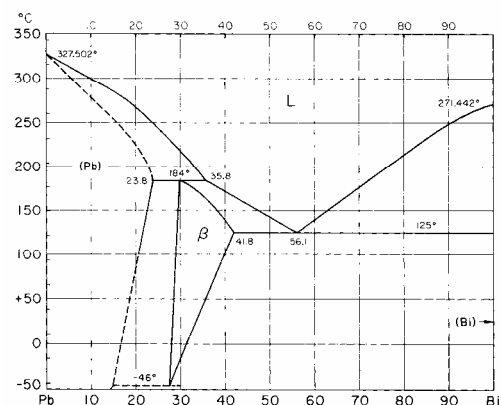
b)如合金成分为 $w(\text{Cu})=2\%$, 和前面的条件相同,回答 a)中的各个问题。

c)如合金成分为 $w(\text{Cu})=2\%$, 固相无扩散,液相充分混合,画出凝固后固相的成分分布,在固相百分比是多少时出现共晶组织?

- 14.根据界面稳定性的普遍判别式, $w(\text{Cu})=0.5\%$ 的 Al-Cu 合金界面推移速度为 $5\mu\text{m/s}$, 为了保持平面界面,估算液相温度梯度应为多大?若界面绝对稳定时,界面推移速度应多大?(设固体热导率为液体的一半, $\gamma=5\times 10^{-6}\text{J/cm}^2$, 其它需要的数据可从上面各题找出)。

- 15.如果界面前沿温度梯度很低,碳在 δ 铁中扩散很快(能完成包晶反应),画出 $w(\text{C})=0.25\%$ 的 Fe-C 凝固界面附近的组织示意图。若温度梯度很大,界面是稳定的,设所有液、固相线都是直线,忽略固相中的扩散,并且液相完全均匀混合,画出组织分布图,并定量地说明各种组织的相对量。

16. 图 5-71 为 Pb-Bi 二元相图， $w(\text{Bi})=20\%$ 合金定向凝固，设固相无扩散，液相完全混合，求共晶体的量。



17. 如片层状和棒状共晶两相的中心间距相等，并且两种形貌的共晶中的比界面能相等。证明存在一个相体积百分数的临界值，大于这个临界值则形成棒状组织，否则为片层状组织。

18. 含硅的低合金钢锭，存在枝晶偏析，枝晶臂距是 $500\mu\text{m}$ 。在 1200°C 下扩散退火，问偏析振幅减小到原来的 10%，应保温多长时间？设 1200°C 下碳在奥氏体的扩散系数是 $2.23 \times 10^{-6} \text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ，硅的扩散系数是 $7.03 \times 10^{-11} \text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 。