

第六次作业-回复与再结晶部分

张锦程 2018012082 材84

课本第10章课后习题1-9题，共9题

10-1 已知锌单晶体的回复激活能为 83736 J/mol ，在 -50°C 温度去除 25% 的加工硬化需要 13d（天），若要求在 5min 内去除同样的加工硬化，需将温度提高多少？（提示：公式中 $R = 8.3736 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$ ，温度 T 的单位为 K ）

由公式 $\ln \frac{t_1}{t_2} = \frac{Q}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$ ，代入数据计算可得：

$$\ln \frac{13 \times 24 \times 60}{5} = \frac{83736}{8.3736} \left(\frac{1}{223} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (1)$$

解得：

$$T_2 \approx 273.11 \text{ K} \quad (2)$$

10-2 有一块 Fe-3%Si 单晶如图 10-42 所示，为 BCC 晶体，长度为 3cm，其点阵常数 $a_0 = 0.3 \text{ nm}$ ，经弯曲变形后进行回复退火，发生多边形化过程，形成五块亚晶，由金相蚀坑法测得此时的刃位错总数 $n_T = 1.128 \times 10^6$ ，设其均匀分布构成亚晶界。

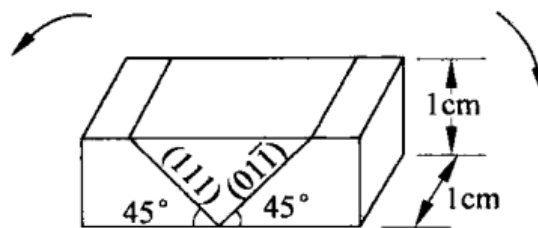


图 10-42 题 10-2 附图

(1) 求相邻亚晶间的取向差。

(2) 设在多边形化前位错间无交互作用，问形成亚晶后畸变能与形成亚晶前相差多少？

(3) 由上述推测回复对再结晶有何影响。

提示：回复前后，位错线总长度不变，但单位长度位错线应变能有变化。由此可求出形成亚晶前后畸变能的变化。

$$(1) \text{ 亚晶界上位错距离 } D = \frac{b}{\theta} \Rightarrow \text{单位面积上的位错长度 } n = \frac{\theta}{b} \Rightarrow$$

$$\theta = nb = 2.248 \times 10^5 \text{ cm}^{-1} \times 0.3 \times 10^{-7} \text{ cm} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 5.84 \times 10^{-3}$$

$$(2) \text{ 多边形化前: } E_1 = \frac{\theta}{b} \frac{Gb^2}{4\pi(1-\nu)} \ln \frac{R}{r_0} \approx 10\theta E_0, \text{ 其中 } E_0 = \frac{Gb}{4\pi(1-\nu)}$$

多边形化后： $E_2 = E_0\theta(0.5 - \ln\theta)$

$$\text{所以 } \frac{\Delta E}{E_1} = \frac{E_2 - E_1}{E_1} = \frac{0.5 - \ln\theta}{10} - 1 \approx 1 - 56.43\% = -43.57\%$$

(3) 回复后晶体的能量下降，更加稳定，亚晶界不易迁移，可能在一定程度上阻碍了此后的再结晶过程；但同时，形成的大曲率亚晶可作为再结晶的核心。

10-3 银的冷加工形变量为 26%，畸变能约为 16.7J/mol ，银的界面能为 0.4J/m^2 ，观察到晶界移动的再结晶核心，弓出的晶界长度（指弓弦长度）约为 $1\mu\text{m}$ ，问是否符合晶界弓出生核能量条件。（已知银的密度 10.5g/cm^3 ，摩尔质量 107.8g/mol ）

计算得银单位体积的畸变能：

$$\Delta E_V = \frac{16.7}{107.8 \div 10.5} \text{J/cm}^3 = 1.62 \text{J/cm}^3 \quad (3)$$

则临界曲率半径：

$$L_{lim} = \frac{2\gamma}{\Delta E_V} = 0.4938 \mu\text{m} \quad (4)$$

由于 $L \geq L_{lim}$ ，故符合晶界弓出生核的条件。

10-4 纯铅在 553°C 和 627°C 等温退火至完成再结晶分别需要 40h 和 1h，试求此材料的再结晶激活能。

由公式：

$$\ln \frac{t_1}{t_2} = \frac{Q_R}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (5)$$

可得：

$$Q_R = R \ln \left(\frac{40\text{h}}{1\text{h}} \right) / \left(\frac{1}{826.15} - \frac{1}{900.15} \right) = 308.228 \text{kJ/mol} \quad (6)$$

10-5 设冷变形后位错密度 ρ 为 $10^{12}/\text{cm}^2$ 的金属中存在着加热时不发生聚集长大的第二相微粒，其体积分数 $f = 1\%$ ，半径为 $1\mu\text{m}$ ，问这种第二相微粒的存在能否完全阻止此金属加热时的再结晶，设 $G = 10^5 \text{MPa}$ ， $b = 3 \times 10^{-8} \text{cm}$ ，比界面能 $\gamma = 0.5 \text{J/m}^2$ 。（提示：再结晶驱动力为 $p = Gb^2\rho$ ）

第二相粒子存在时对界面迁移产生的阻力为：

$$F_R = \frac{3f}{2r} \gamma = 7.5 \text{kPa} \quad (7)$$

驱动力为：

$$Gb^2\rho = 9 \times 10^4 \text{kPa} \quad (8)$$

所以不能阻止此金属加热时的再结晶

10-6 一块锡片在室温下弯曲，放置长时间后，其纵截面上组织如何变化，画图加以说明。已知锡的熔点为 232°C 。锡片弯曲前后形状见图10-43。

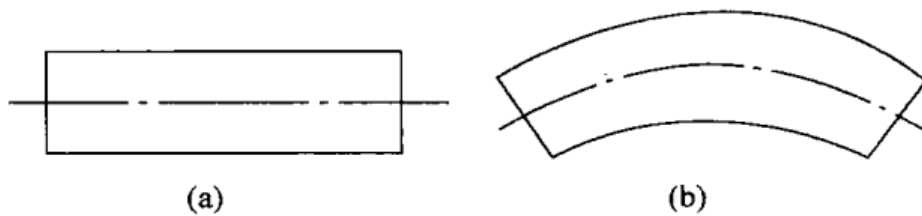
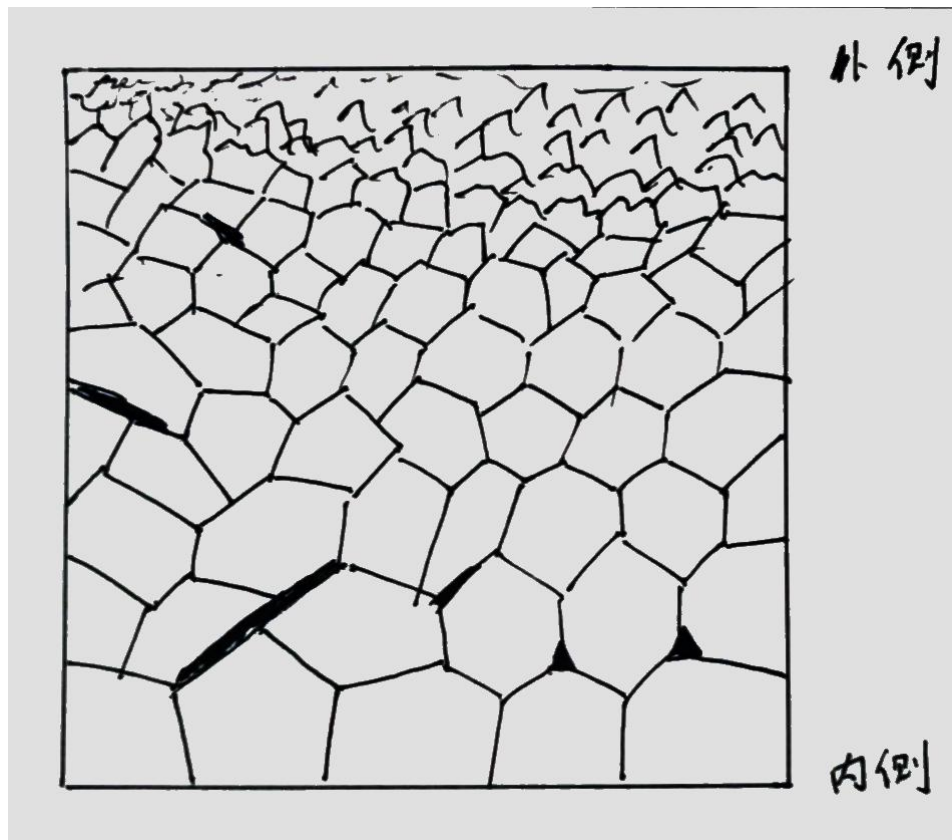
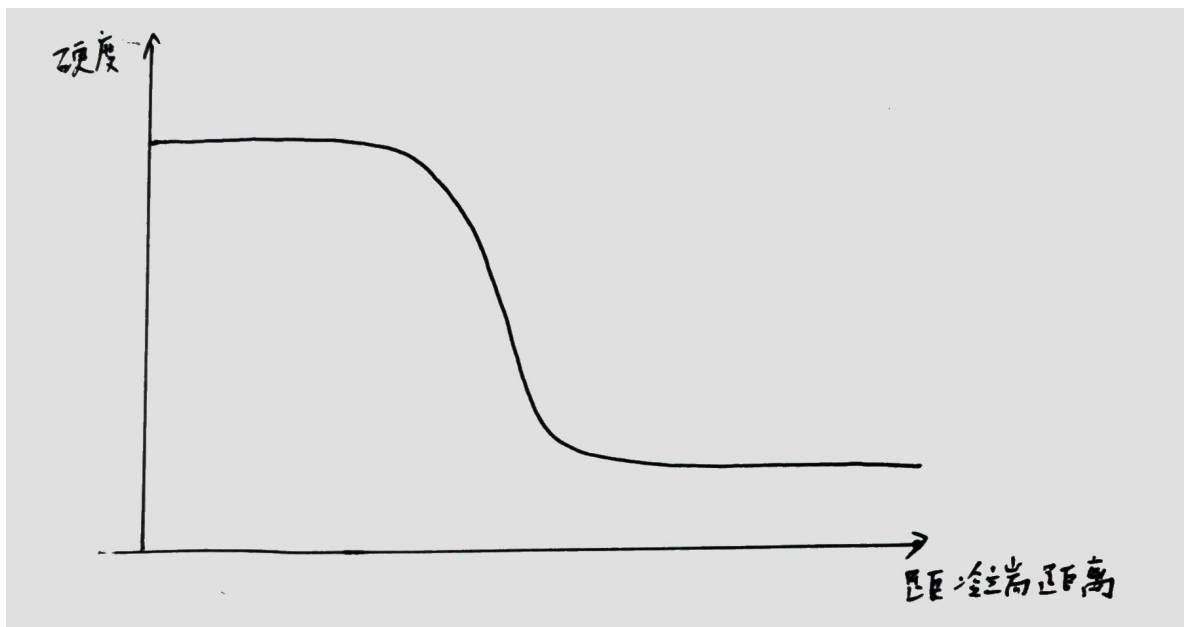


图 10-43 锡片弯曲前(a)后(b)形状

Sn 的熔点为 505 K，低温回复区：50.5 K ~ 151.5 K、中温回复区 151.5 K ~ 252.5 K、高温回复区：>252.5 K，可知室温属于高温回复区，可以发生多边形化过程，同时由于室温温度大于再结晶温度，所以会发生再结晶过程，回复对组织影响较小，所以可以只考虑再结晶的影响；Sn 片外侧变形度大，内侧变形度小，大于临界变形度时，随着形变量的增大，晶粒尺寸减小，所以组织如下：



10-7 将经过大量塑性变形（如 70% 以上）的纯金属长棒的一端浸入冰水中，另一端加热至接近熔点的高温（例如 $0.9T_m$ ），过程持续进行一小时，然后试样完全冷却，试作沿棒长度的硬度分布曲线示意图，并作简要说明。



在热端，温度在再结晶温度之上，在冷端，温度显然在再结晶温度以下，在两端之间，由傅里叶传热定律，温度均匀变化，于是从冷端到热端依次发生回复 - 再结晶 - 晶粒长大这些过程。回复时由于缺陷密度的下降，硬度也部分下降；再结晶发生时，晶粒大小变化，导致硬度急剧下降；晶粒长大时，硬度也会继续下降。

10-8 将一楔形铜片置于间距恒定的两轧辊间轧制,如图 10-44所示。

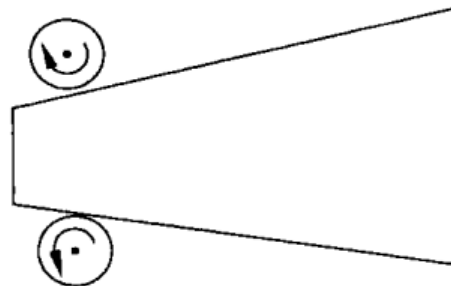
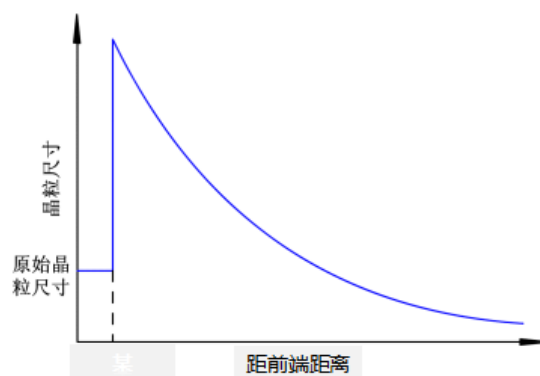


图 10-44 题 10-8 附图

(1) 画出此铜片经完全再结晶后品粒大小沿片长方向变化的示意图。

(2) 如果在较低温度退火，何处先发生再结晶?为什么?

(1) 形变量 (预先变形度) 由前段到后段依次增大，所以可画出下图：



(2) 后端，因为后端的变形度较大，积攒的形变能较多，形核位置多，导致再结晶温度低，容易发生再结晶。

10-9 室温下枪弹击穿一铜板和铅板，试分析长期保持后二板弹孔周围组织的变化和原因。

铜的熔点较高，为 1083.4°C (1356.55 K)，铅的熔点较低，为 327°C (600.15 K)；枪弹的撞击，提供了巨大的初始形变量；对于铜来说，室温低于再结晶温度，主要发生低温回复，组织变化较小；对于铅来说，室温下已经可以发生再结晶和高温回复，变形的伸长晶粒变为新的等轴晶粒。