

西北工业大学

试卷二十五

2002 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料类、机械类

一、简答题（共 30 分，每小题 6 分）

1. 简单立方晶体中，若位错线方向为 $[001]$ ， $b = a [110]$ ，试说明该位错属于什么类型的位错？

2. 若面心立方晶体中有 $b = \frac{a}{2} [\bar{1}01]$ 的单位位错及 $b = \frac{a}{6} [12\bar{1}]$ 的不全位错，此二位错相遇能否进行位错反应？为什么？

3. 有一 40 钢试样，平衡加热到 730°C 将获得什么组织？若把该试样从 730°C 快冷（如水冷），室温下将得到什么组织？

4. 说明下列合金相各属于何种固溶体化合物：碳钢中的奥氏体， Fe_3C ， Mg_2Si ， Cu_3Sn 。

5. 简述纯金属晶体长大的机制。

二、计算作图题（共 40 分，每小题 8 分）

1. FeO 具有 NaCl 型结构。假设 Fe 与 O 的原子数目相同，试计算其密度。（已知 Fe 与 O 的相对原子量为 55.8 和 16.0，铁的离子半径 $r = 0.074\text{nm}$ ，氧的离子半径 $R = 0.140\text{nm}$ ）

2. 拉伸单晶铜，拉力轴方向为 $[001]$ ， $\sigma = 10^6\text{Pa}$ 。求在 (111) 面上一个 $b = \frac{a}{2} [10\bar{1}]$ 的螺位错线所受的力（已知铜的点阵常数 $a = 0.36\text{nm}$ ）。

3. Mg-Ni 系的一个共晶反应为： $L(w_{\text{Ni}} = 0.235) = \alpha(\text{纯Mg}) + \text{Mg}_2\text{Ni}(w_{\text{Ni}} = 0.546)$ ，设 $w_{\text{Ni}}^1 = C_1$ 为一种亚共晶合金， $w_{\text{Ni}}^2 = C_2$ 为一种过共晶合金，这两种合金的先共晶相的质量分数相等，但 C_1 合金中 α 的总量是 C_2 合金中 α 总量的 2.5 倍，试确定 C_1 合金和 C_2 合金的成分。

4. 在面心立方晶胞中, 分别画出 (101) 、 $[10\bar{1}]$ 和 $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ 、 $[1\bar{1}0]$, 并指出哪些是滑移面、滑移方向; 就图中情况能否构成滑移系?

5. 利用 Fe-O 相图 (见图 25-1), 分析纯铁在 1000°C 氧化时, 氧化层内的组织与氧浓度分布规律, 画出示意图。

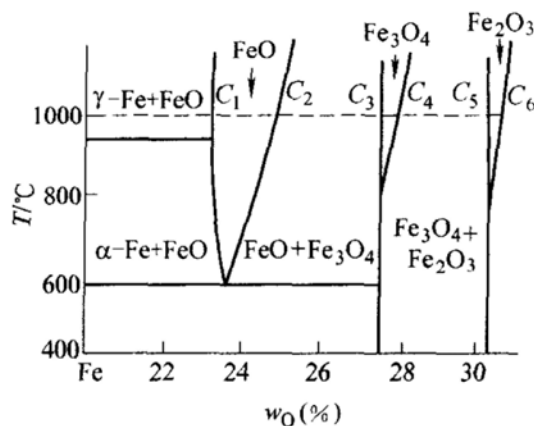


图 25-1 第二题第 5 小题图

三、综合分析题 (共 30 分, 每小题 15 分)

1. 就 Al-Cu 合金相图 (见图 25-2), 试分析:

(1) 什么成分的合金适合压力加工?

(2) 对此合金可采用什么方法强化? 为什么?

(3) 对于 $w_{\text{Cu}} = 0.04$ 的合金, 经 80% 冷变形后, 分别在 550°C 、 300°C 退火 1 小时, 试分析其组织有什么不同。

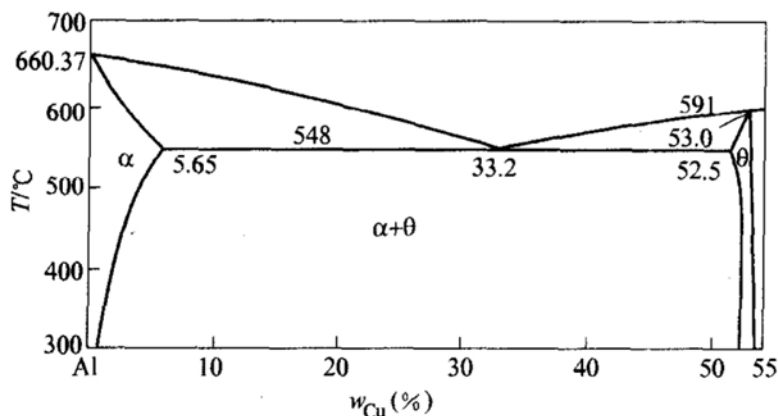


图 25-2 第三题第 1 小题图

2. 对于 Fe-C 合金 (相图见图 25-3):

(1) 有两批直径相同的 20 钢和 T12 钢棒发生混料, 请提出两种不同的方法将它们区分开来。

(2) 若在退火状态下, 试比较两种材料的强度、硬度和塑性的大小。

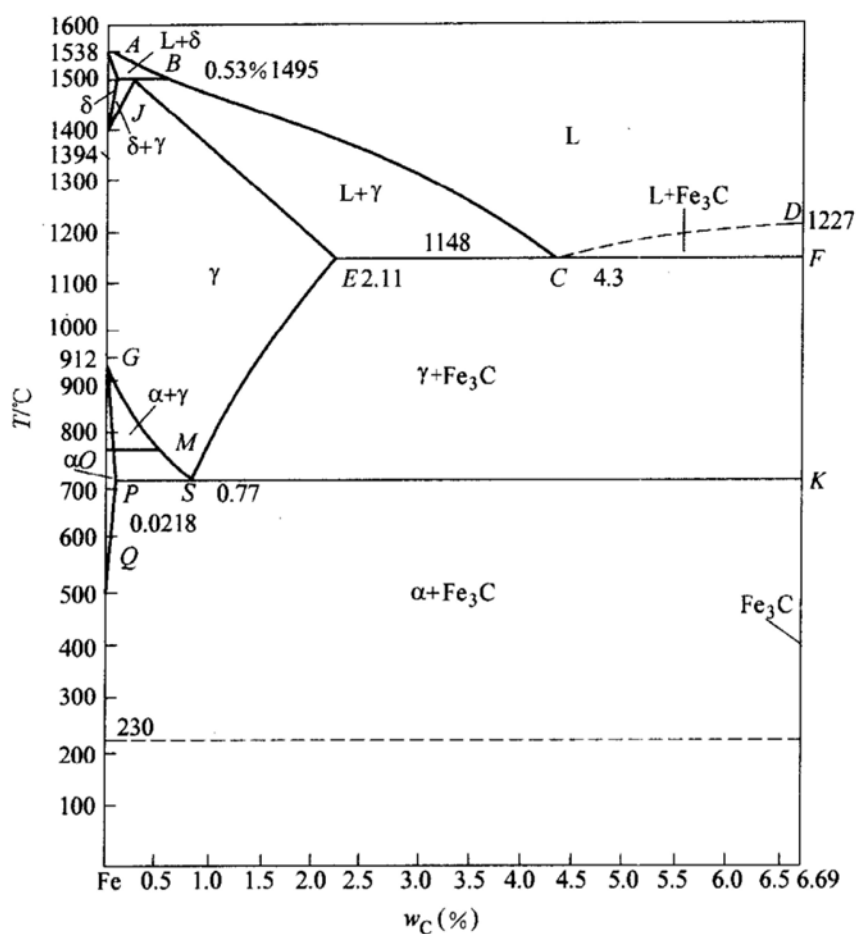


图 25-3 第三题第 2 小题图

标准答案

一、

1. 因位错线方向与柏氏矢量方向垂直, 因此该位错为刃位错。
2. 能够发生反应。

$$\text{几何条件: } \sum \vec{b}_{\text{前}} = \sum \vec{b}_{\text{后}} = \frac{a}{3} [\bar{1}11]$$

$$\text{能量条件: } \sum \vec{b}_{\text{前}}^2 = \frac{2}{3} a^2 > \sum \vec{b}_{\text{后}}^2 = \frac{1}{3} a^2$$

3. 40 钢加热到 730℃ 将得到奥氏体 + 铁素体, 从 730℃ 快冷到室温将得到马氏体 + 铁素体组织。

4. 奥氏体——间隙固溶体。

Fe₃C——间隙化合物。

Mg_2Si ——正常价化合物。

Cu_3Sn ——电子化合物。

5. 晶体长大机制是指晶体微观长大方式, 它与液-固界面结构有关。

具有粗糙界面的物质, 因界面上约有 50% 的原子位置空着, 这些空位都可接受原子, 故液体原子可以单个进入空位, 与晶体相连接, 界面沿其法线方向垂直推移, 呈连续式长大。

具有光滑界面的晶体长大, 不是单个原子的附着, 而是以均匀形核的方式, 在晶体学小平面上形成一个原子层厚的二维晶核与原界面间形成台阶, 单个原子可以在台阶上填充, 使二维晶核侧向长大, 在该层填满后, 则在新的界面上形成新的二维晶核, 继续填满, 如此反复进行。

若晶体的光滑界面存在有螺型位错的露头, 则该界面成为螺旋面, 并形成永不消失的台阶, 原子附着到台阶上使晶体长大。

二、

1. 由于 FeO 具有 NaCl 型结构, 所以单位晶胞中有 4 个 Fe^{2+} 和 4 个 O^{2-} , 则有

$$V = a^3 = [2 \times (0.074 + 0.140) \times 10^{-9}]^3 \text{m}^3 = 78.4 \times 10^{-30} \text{m}^3$$

$$m = 4 \times (55.8 + 16.0) / (0.6 \times 10^{24}) \text{g} = 479 \times 10^{-24} \text{g}$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{479 \times 10^{-24}}{78.4 \times 10^{-30}} \text{g/m}^3 = 6.1 \times 10^6 \text{g/m}^3$$

2. 设外加拉应力在 (111) 滑移面上沿 $[\bar{1}01]$ 晶向的分切应力为 τ , 则

$$\tau = \sigma \cos \varphi \cos \lambda$$

式中, φ 为 $[001]$ 与 (111) 晶面的法线 $[111]$ 间的夹角, λ 为 $[001]$ 与 $[\bar{1}01]$ 晶向间的夹角, 故

$$\tau = 10^6 \times \frac{1}{\sqrt{1} \times \sqrt{3}} \times \frac{1}{\sqrt{2}} \text{Pa} = 4.0825 \times 10^5 \text{Pa}$$

若螺位错线上的受力为 F_d , 则

$$F_d = \tau b = 4.0825 \times 10^5 \times \frac{\sqrt{2}}{2} \times 0.36 \times 10^{-9} \text{N/m} = 1.039 \times 10^{-4} \text{N/m}$$

3. 根据题意, 可知:

$$\begin{cases} \frac{23.5 - C_1}{23.5} = \frac{C_2 - 23.5}{54.6 - 23.5} \\ \frac{54.6 - C_1}{54.6} = 2.5 \times \frac{54.6 - C_2}{54.6} \end{cases}$$

解之得

$$C_1 = 12.7\%, C_2 = 37.8\%$$

4. 见图 25-4。

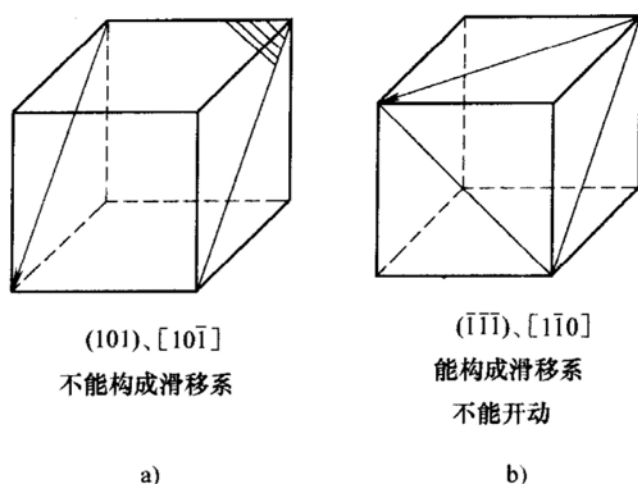


图 25-4 第二题第 4 小题解答图

5. 见图 25-5。

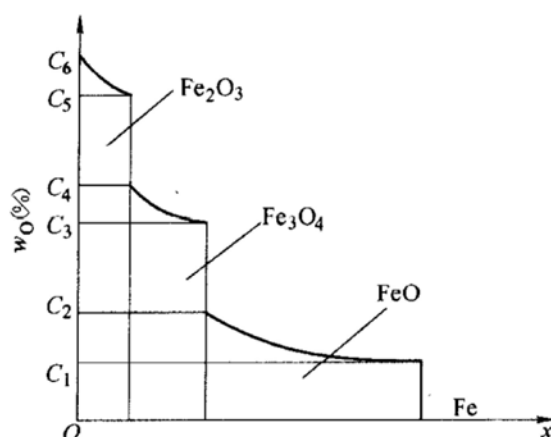


图 25-5 第二题第 5 小题解答图

三、

1.

(1) 进行压力加工要求合金具有良好的塑性，组织中不应有过多的强化相，因此合金中的合金元素应比较少，一般不超过其最大固溶度。

(2) 对 Al-Cu 合金而言，常用含 Cu 约 4% 的合金。该合金固溶处理后处于单相状态，塑性变形能力优良。

(3) 提高 Al-4%Cu 合金的强度有两种方法。其一，固溶 + 时效处理：将合金加热至单相区，快速冷却，获得过饱和的 α 固溶体，而后重新加热到一定温度保温，析出细小弥散的 θ 相，从而获得时效强化。其二，加工硬化：通过冷变形获得加工硬化。

2.

(1) 分辨 20 钢和 T12 钢常用方法有：金相法，先进行退火处理，而后观察其金相组织，20 钢的组织为珠光体 + 铁素体，T12 钢的组织为珠光体 + 网状渗碳体；敲击法，分别敲击两合金，20 钢的声音清脆明亮，T12 钢的则沉闷。

(2) 退火状态下，20 钢的强度、硬度较 T12 钢低，塑性较高。

试卷二十六

2003 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料类、机械类

一、简答题：（共 40 分，每小题 8 分）

1. 简单立方晶体中，若位错线方向为 $[11\bar{2}]$ ， $b = a [\bar{1}10]$ ，试判断此位错的类型？若为刃型位错，试求出半原子面的晶面指数及插入方向的晶向指数。

2. 根据溶质原子在点阵中的位置，举例说明固溶体相可分为几类？固溶体在材料中有何意义？

3. 固溶体合金非平衡凝固时，有时会形成微观偏析，有时会形成宏观偏析，原因何在？

4. 应变硬化在生产中有何意义？作为一种强化方法，它有什么局限性？

5. 一种合金能够产生析出硬化的必要条件是什么？

二、计算、作图题（共 60 分，每小题 12 分）

1. 绘出面心立方点阵中 (110) 晶面的原子平面图。在该图中标出 $[1\bar{1}1]$ 晶向和 $(1\bar{1}0)$ 晶面（指晶面在 (110) 晶面上的垂直投影线）。

2. 在图 26-1 所示浓度三角形中，确定 P 、 R 、 S 三点的成分。若有 2kg 的 P 、4kg 的 R 、7kg 的 S 混合，求混合后该合金的成分？

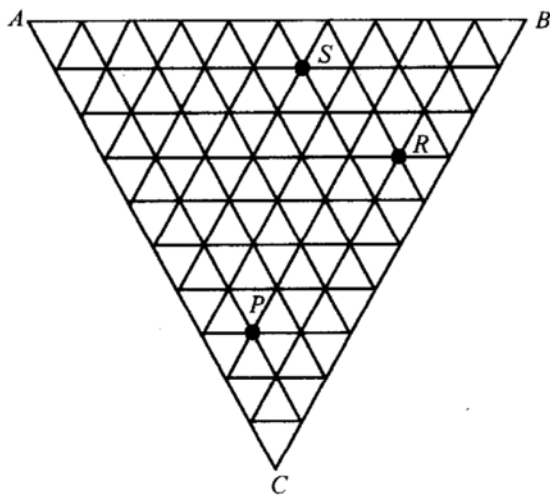


图 26-1 第二题第 2 小题图

3. 已知碳在 γ -Fe 中扩散时, $D_0 = 2.0 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, $Q = 1.4 \times 10^5 \text{ J/mol}$ 。当温度在 927°C 时, 求其扩散系数为多少? (已知摩尔气体常数 $R = 8.314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$)

4. 纯锆在 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。(已知摩尔气体常数 $R = 8.314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$)

5. 画出 40 钢经退火后室温下的显微组织示意图, 并注明组织、放大倍数、腐蚀剂等。

三、综合分析题: (共 50 分, 每小题 25 分)

1. 图 26-2 所示为铜-铝合金相图的近铝部分。

(1) 写出 $w_{\text{Al}} = 0.08$ 的 Al-Cu 合金, 平衡凝固后的室温组织, 并述其形成过程?

(2) 若该合金在铸造条件下, 将会是什么组织?

(3) 若该合金中 Al 含量改变时 (当 $w_{\text{Al}} < 0.05$ 或 $w_{\text{Al}} > 0.08$ 时), 其力学性能将如何变化?

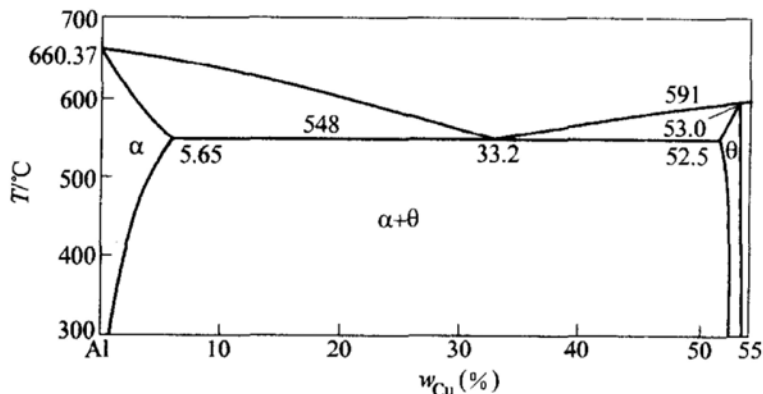


图 26-2 第三题第 1 小题图

2. 已知位错环 ABCD 的柏氏矢量为 \mathbf{b} , 外应力为 τ 和 σ , 如图 26-3 所示。

(1) 位错环的各边分别是什么类型的位错?

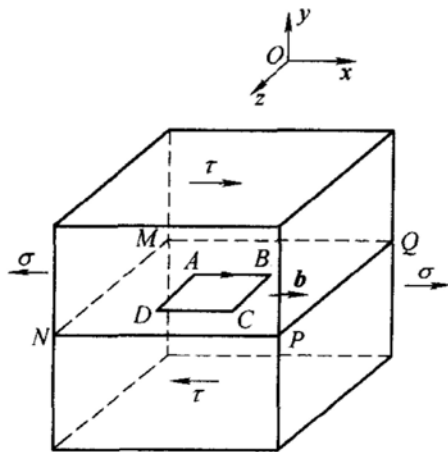


图 26-3 第三题第 2 小题图

- (2) 在足够大切应力 τ 作用下, 位错环将如何运动?
 (3) 在足够大的拉应力 σ 作用下, 位错环将如何运动?

标准答案

一、

1. 因位错线方向和柏氏矢量方向垂直, 故该位错是刃位错。半原子面的晶面指数是 $(\bar{1}10)$ 。
2. 按溶质原子在点阵中的位置, 固溶体可以分为置换固溶体, 比如 Al-Cu 合金中的 α 相; 间隙固溶体, 比如 Fe-C 合金中的 α 相。
3. 微观偏析在一个晶粒范围以内, 是由于结晶时扩散速度较慢引起的。宏观偏析在整个零件或试样范围内, 是由于结晶时溶质原子再分配引起的。
4. 应变硬化又称为加工硬化, 可以提高合金的强度和硬度, 比如, 冷拉钢丝就是利用应变硬化效应对钢丝进行强化的。尤其是对于有些不能用热处理进行强化的合金, 应变硬化是非常重要的强化手段。但应变硬化并没有从根本上改变合金的性质, 如果遇到某些情况, 如温度升高, 应变硬化可能会因再结晶的发生而丧失。
5. 能够产生析出硬化的必要条件是可获得过饱和固溶体, 以便于第二相的析出。

二、

1. 见图 26-4。

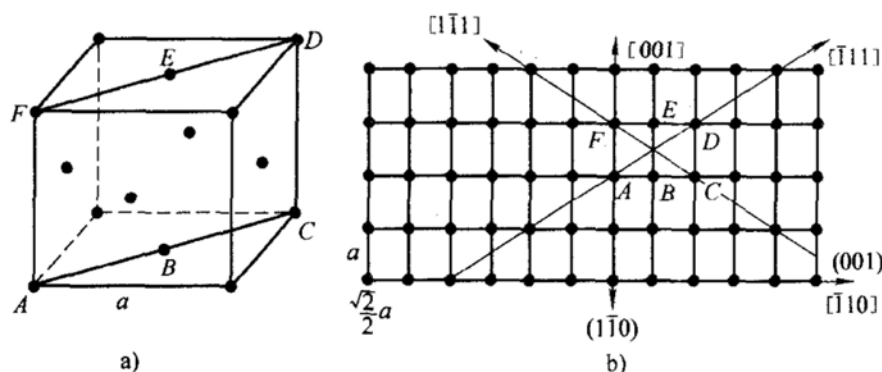


图 26-4 第二题第 1 小题解答图

2. 见图 26-5。

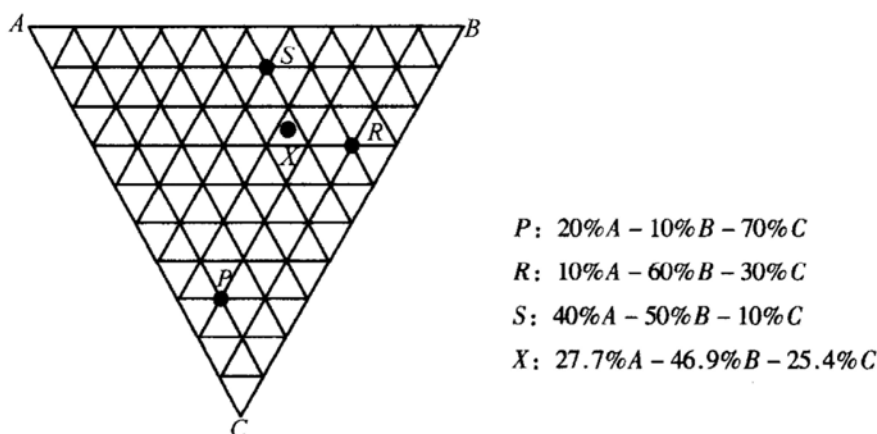


图 26-5 第二题第 2 小题解答图

$$3. D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) = 2.0 \times 10^{-5} \exp\left(-\frac{1.4 \times 10^5}{8.314 \times 1200}\right) \text{m}^2/\text{s} = 1.6 \times 10^{-11} \text{m}^2/\text{s}$$

4.

由
$$\frac{t_1}{t_2} = \exp\left[\frac{Q}{R}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right]$$

可得
$$\ln \frac{t_1}{t_2} = \frac{Q}{R}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$$

$$Q = R \ln \frac{t_1}{t_2} / \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right) = 8.314 \times \ln 40 / \left(\frac{1}{553 + 273} - \frac{1}{627 + 273}\right) \text{J/mol}$$

$$= 3.08 \times 10^5 \text{J/mol}$$

5. 略。

三、

1.

(1) $w_{\text{Al}} = 0.08$ 的 Al-Cu 合金平衡凝固时, 首先析出 α 固溶体, 随温度降低 α 相逐渐增多。温度降至 548°C 时发生共晶反应, 得到 $\alpha + \theta$ 共晶体。液相全部消耗完时温度再次下降, α 相中析出弥散的 θ 相。室温下, 其组织组成为: $\alpha + (\alpha + \theta)_{\text{共}} + \theta_{\text{II}}$ 。

(2) 在铸造条件下, α 相减少, 共晶体增多, 且晶粒较平衡凝固为小。

(3) 若 Cu 含量减少, 合金的强度下降, 塑性升高; 若 Cu 含量增加, 则强度升高, 塑性下降。

2.

(1) 由位错线的方向与 \vec{b} 之间的关系可知: AB 为右螺位错, CD 为左螺位错, BC 为正刃位错; DA 为负刃位错。

(2) 在足够大切应力 τ 作用下, 晶体上部沿 \vec{b} 的方向运动, 这样造成位错环

各边向外侧运动，即位错环扩大。

(3) 在足够大的拉应力 σ 作用下， BC 段位错将向下运动， DA 段位错向上运动；由于螺位错不能攀移，因此 AB 、 CD 两段位错不发生运动。如图 26-6 所示。

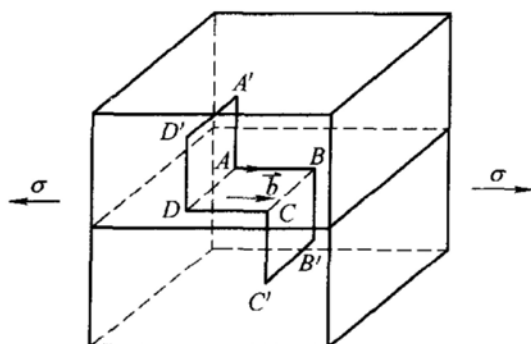


图 26-6 第三题第 2 小题解答图

试卷二十七

2004 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料类、机械类

一、简答题（共 40 分，每小题 8 分）

1. 请简述间隙固溶体、间隙相、间隙化合物的异同点？
2. 请简述影响扩散的主要因素有哪些。
3. 临界晶核的物理意义是什么？形成临界晶核的充分条件是什么？
4. 有哪些因素影响形成非晶态金属？为什么？
5. 合金强化途径有哪些？各有什么特点？

二、计算、作图题（共 60 分，每小题 12 分）

1. 求 $[11\bar{1}]$ 和 $[20\bar{1}]$ 两晶向所决定的晶面，并绘图表示出来。
2. 氧化镁 (MgO) 具有 NaCl 型结构，即具有 O^{2-} 离子的面心立方结构。

问：

(1) 若其离子半径 $r_{\text{Mg}^{2+}} = 0.066\text{nm}$, $r_{\text{O}^{2-}} = 0.140\text{nm}$, 则其原子堆积密度为多少？

(2) 如果 $r_{\text{Mg}^{2+}}/r_{\text{O}^{2-}} = 0.41$, 则原子堆积密度是否改变？

3. 已知液态纯镍在 $1.013 \times 10^5\text{Pa}$ (1 大气压), 过冷度为 319K 时发生均匀形核, 设临界晶核半径为 1nm , 纯镍熔点为 1726K , 熔化热 $\Delta H_m = 18075\text{J/mol}$, 摩尔体积 $V_s = 6.6\text{cm}^3/\text{mol}$, 试计算纯镍的液-固界面能和临界形核功。

4. 图 27-1 所示为 Pb-Sn-Bi 相图投影图。问：

(1) 写出合金 Q ($w_{\text{Bi}} = 0.7$, $w_{\text{Sn}} = 0.2$) 凝固过程及室温组织。

(2) 计算合金室温下组织组成物的相对含量。

5. 有一钢丝 (直径为 1mm) 包覆一层铜 (总直径为 2mm)。若已知钢的屈服强度 $\sigma_{st} = 280\text{MPa}$, 弹性模量 $E_{st} = 205\text{GPa}$, 铜的 $\sigma_{Cu} = 140\text{MPa}$, 弹性模量 $E_{Cu} = 110\text{GPa}$ 。问：

(1) 如果该复合材料受到拉力, 何种材料先屈服？

(2) 在不发生塑性变形的情况下, 该材料能承受的最大拉伸载荷是多少？

(3) 该复合材料的弹性模量为多少？

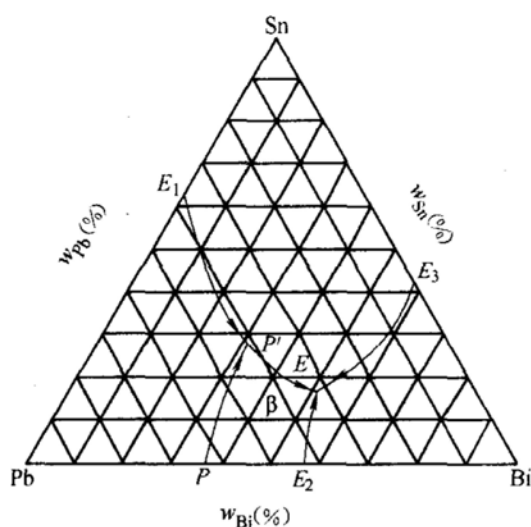


图 27-1 第二题第 4 小题图

三、综合分析题 (共 50 分, 每小题 25 分)

1. 某面心立方晶体的可动滑移系为 $(11\bar{1})[\bar{1}10]$ 。

(1) 请指出引起滑移的单位位错的柏氏矢量。

(2) 若滑移由刃位错引起, 试指出位错线的方向。

(3) 请指出在 (2) 的情况下, 位错线的运动方向。

(4) 假设在该滑移系上作用一大小为 0.7MPa 的切应力, 试计算单位刃位错线受力的大小和方向 (取点阵常数为 $a = 0.2\text{nm}$)。

2. Cu-Ag 合金相图如图 27-2 所示。若有一 Cu-Ag 合金 ($w_{\text{Cu}} = 0.075$, $w_{\text{Ag}} = 0.925$) 1kg , 请提出一种方案从该合金中提炼出 100g 的 Ag, 且要求提炼得到的 Ag 中的 Cu 含量 w_{Cu} 低于 0.02 。(假设液相线和固相线均为直线)。

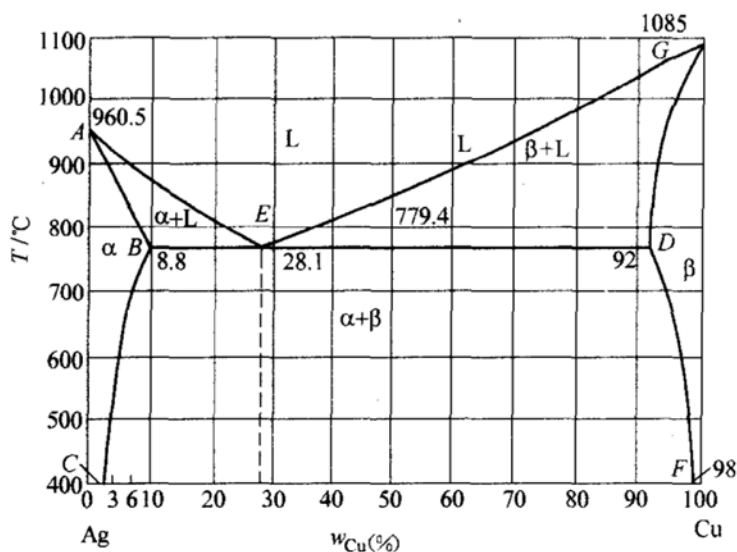


图 27-2 第三题第 2 小题图

标 准 答 案

一、

1. 相同点：小原子溶入。不同点：间隙固溶体保持溶剂（大原子）点阵；间隙相、间隙化合物改变了大原子点阵，形成新点阵。间隙相结构简单；间隙化合物结构复杂。

2. 影响扩散的主要因素：(1) 温度；(2) 晶体结构与类型；(3) 晶体缺陷；(4) 化学成分。

3. 临界晶核的物理意义：可以自发长大的最小晶胚（或，半径等于 r_k 的晶核）。

形成临界晶核的充分条件：(1) 形成 $r \geq r_k$ 的晶胚；(2) 获得 $A \geq A^*$ （临界形核功）的形核功。

4. 液态金属的粘度：粘度越大原子扩散越困难，易于保留液态金属结构。

冷却速度：冷却速度越快，原子重新排列时间越短，越容易保留液态金属结构。

5. 细晶强化、固溶强化、复相强化、弥散强化（时效强化）和加工硬化。

二、

1. 设所求的晶面指数为 (hkl) ，则

$$h:k:l = \left| \begin{array}{cc} 1 & -1 \\ 0 & -2 \end{array} \right| : \left| \begin{array}{cc} -1 & 1 \\ -1 & 2 \end{array} \right| : \left| \begin{array}{cc} 1 & 1 \\ 2 & 0 \end{array} \right| = (112)$$

2.

(1) 点阵常数 $a = 2(r_{\text{Mg}^{2+}} + r_{\text{O}^{2-}}) = 0.412\text{nm}$

$$\text{堆积密度 } P_f = \frac{\frac{4}{3}\pi(r_{\text{Mg}^{2+}}^3 + r_{\text{O}^{2-}}^3) \times 4}{a^3} = 0.73$$

(2) 堆积密度会改变，因为 P_f 与两异号离子半径的比值有关。

$$3. \text{ 因为 } r = \frac{2\sigma}{\Delta G_B}, \Delta G_B = \frac{L\Delta H}{T_m} = \frac{\Delta H\Delta T}{T_m}$$

所以

$$\sigma = \frac{r\Delta G_B}{2} = \frac{r\Delta H\Delta T}{2T_m} = 2.53 \times 10^{-5} \text{J/cm}^2$$

$$A = \Delta G_V = \frac{16\pi\sigma^3}{3\Delta G_B^2} = \frac{16\pi\sigma^3 T_m^2 V}{3\Delta H^2 \Delta T^2} = 1.6 \times 10^{-19} \text{J}$$

4.

(1) 冷却至液相面析出 Bi: $L \rightarrow \text{Bi}_{\text{初}}$ ，随温度降低 Bi 增多，液相成分沿

Bi—Q的延长线向 E_3E 移动;

液相成分达到 E_3E 后发生三相共晶反应, $L \rightarrow (Sn + Bi)_{共}$, 液相成分沿 E_3E 向 E 移动;

液相成分达到 E 后, 发生四相共晶反应 $L \rightarrow (Sn + Bi + \beta)_{共}$ 。此后冷却, 组织不再变化。

室温组织为: $Bi_{初} + (Sn + Bi)_{共} + (Sn + Bi + \beta)_{共}$

(2) $w_{Bi_{初}} = 0.288$; $w_{(Sn + Bi)_{共}} = 0.407$; $w_{(Sn + Bi + \beta)_{共}} = 0.305$

5. 两金属的弹性应变相等, 即:

$$(\sigma/E)_{st} = \epsilon_{st} = \epsilon_{Cu} = (\sigma/E)_{Cu}$$

$$\sigma_{st} = \sigma_{Cu} \times \frac{205000}{110000} = 1.86\sigma_{Cu}$$

(1) Cu 先屈服。

(2) $F_{总} = F_{Cu} + F_{st} = (140 \times 10^6 \times 2.4 \times 10^{-6} + 280 \times 10^6 \times 0.8 \times 10^{-6}) N = 560N$

(3) $\bar{E} = (\varphi E)_{st} + (\varphi E)_{Cu} = 130000MPa$

三、

1.

(1) 柏氏矢量: $\vec{b} = \frac{a}{2} [\bar{1}10]$ 。

(2) 位错线方向: $[112]$ 。

(3) 位错线运动方向平行于柏氏矢量。

(4) $F = \tau b = 9.899 \times 10^{-11} MN/m$

2.

(1) 将 1kg 合金加热至 900℃ 以上熔化, 缓慢冷却至 850℃, 倒去剩余液体, 所得固体 a_1 约 780g, $w_{Cu} = 0.055$ 。

(2) 将 a_1 熔化, 缓慢冷却至 900℃, 倒去剩余液体, 得 a_2 约 380g, $w_{Cu} = 0.03$ 。

(3) 将 a_2 熔化, 缓慢冷却至 920℃, 倒去剩余液体, 得 a_3 约 260g, $w_{Cu} = 0.02$ 。

(4) 将 a_3 熔化, 缓慢冷却至 935℃, 倒去剩余液体, 得 a_4 约 180g, $w_{Cu} = 0.013$, 即可。

试卷二十八

2005 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料类、机械类

一、简答题（每题 8 分，共 40 分）

1. 请简述二元合金结晶的基本条件有哪些。
2. 同素异晶转变和再结晶转变都是以形核长大方式进行的，请问两者之间有何差别？
3. 两位错发生交割时产生的扭折和割阶有何区别？
4. 请简述扩散的微观机制有哪些？影响扩散的因素又有哪些？
5. 请简述回复的机制及其驱动力。

二、计算、作图题（共 60 分，每小题 12 分）

1. 在面心立方晶体中，分别画出 (101) 和 $[10\bar{1}]$ ， $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ 和 $[\bar{1}10]$ ， (111) 和 $[0\bar{1}1]$ ，指出哪些是滑移面、滑移方向，并就图中情况分析它们能否构成滑移系？若外力方向为 $[001]$ ，请问哪些滑移系可以开动？

2. 请判定下列位错反应能否进行，若能够进行，请在晶胞图上做出矢量图。

$$(1) \frac{a}{2} [\bar{1}\bar{1}1] + \frac{a}{2} [111] \rightarrow a [001]$$

$$(2) \frac{a}{2} [110] \rightarrow \frac{a}{6} [12\bar{1}] + \frac{a}{6} [211]$$

3. 假设某面心立方晶体可以开动的滑移系为 $(11\bar{1})[011]$ ，请回答：

- (1) 给出滑移位错的单位位错柏氏矢量。
- (2) 若滑移位错为纯刃位错，请指出其位错线方向；若滑移位错为纯螺位错，其位错线方向又如何？

4. 若将一块铁由室温 20°C 加热至 850°C ，然后非常快地冷却到 20°C ，请计算处理前后空位数变化（设铁中形成 1mol 空位所需的能量为 104600J ）。

5. 已知三元简单共晶的投影图如图 28-1 所示。

- (1) 请画出 AD 代表的垂直截面图及各区的相组成（已知 $T_A < T_D$ ）；
- (2) 请画出 X 合金平衡冷却时的冷区曲线，及各阶段相变反应。

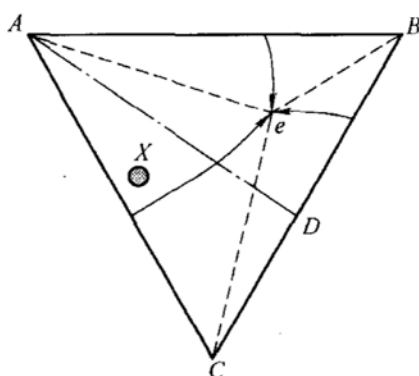


图 28-1 第二题第 5 小题图

三、综合分析题 (共 50 分, 每小题 25 分)

1. 请对比分析加工硬化、细晶强化、弥散强化、复相强化和固溶强化的特点和机理。

2. 请根据图 28-2 所示二元共晶相图分析解答下列问题:

- (1) 分析合金 I、II 的平衡结晶过程, 并绘出冷却曲线。
- (2) 说明室温下 I、II 的相和组织是什么? 并计算出相和组织的相对含量。
- (3) 如果希望得到共晶组织和 5% 的 $\beta_{\text{初}}$ 的合金, 求该合金的成分。
- (4) 分析在快速冷却条件下, I、II 两合金获得的组织有何不同。

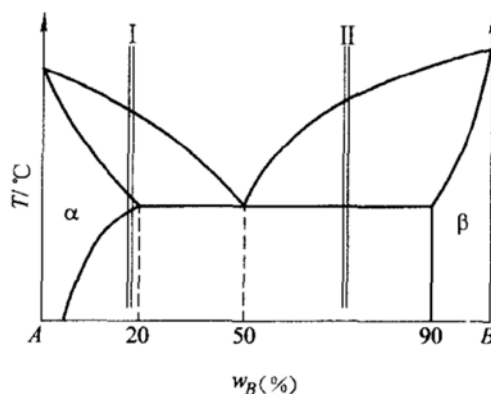


图 28-2 第三题第 2 小题图

标准答案

一、

1. 热力学条件: $\Delta G < 0$; 结构条件: $r > r^*$; 能量条件: $A > \Delta G_{\text{max}}$; 成分条件。

2. 同素异晶转变是相变过程, 该过程的某一热力学量的导数出现不连续; 再结晶转变只是晶粒的重新形成, 不是相变过程。

3. 位错的交割属于位错与位错之间的交互作用, 其结果是在对方位错线上产生一个大小和方向等于其柏氏矢量的弯折, 此弯折即被称为扭折或割阶。扭折为交割后产生的弯折在原滑移面上, 对位错的运动不产生影响, 容易消失; 割阶为不在原滑移面上的弯折, 对位错的滑移有影响。

4. 置换机制: 包括空位机制和直接换位与环形换位机制, 其中空位机制是主要机制, 直接换位与环形换位机制需要的激活能很高, 一般只有在高温时才能出现。

间隙机制: 包括间隙机制和填隙机制, 其中间隙机制是主要机制。

影响扩散的主要因素有: 温度 (温度越高, 扩散速度越快); 晶体结构与类型 (包括致密度、固溶度、各向异性等); 晶体缺陷; 化学成分 (包括浓度、第三组元等)。

5. 低温机制: 对应空位的消失。

中温机制: 对应位错的滑移 (重排、抵消)。

高温机制: 对应多边化 (位错的滑移 + 攀移)。

驱动力: 冷变形过程中产生的存储能 (主要是点阵畸变能) 的释放。

二、

1. 见图 28-3。

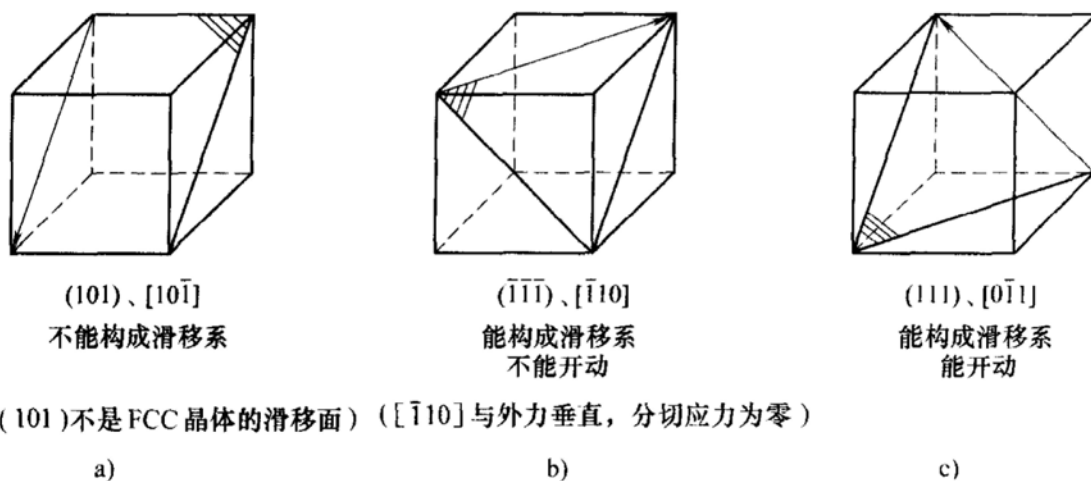


图 28-3 第二题第 1 小题解答图

2.

(1) 几何条件: $\frac{a}{2}[\bar{1}\bar{1}1] + \frac{a}{2}[111] = \frac{a}{2}[002] = a[001]$, 满足几何条件;

能量条件:

$$|\vec{b}_1|^2 + |\vec{b}_2|^2 = \left(\frac{a}{2} \sqrt{(-1)^2 + (-1)^2 + 1^2} \right)^2 + \left(\frac{a}{2} \sqrt{1^2 + 1^2 + 1^2} \right)^2 = \frac{3}{2} a^2$$

$$|\vec{b}_3|^2 = (a \sqrt{0^2 + 0^2 + 1^2})^2 = a^2$$

满足能量条件,反应可以进行。

(2) 几何条件: $\frac{a}{6}[12\bar{1}] + \frac{a}{6}[211] = \frac{a}{6}[330] = \frac{a}{2}[110]$, 满足几何条件;

能量条件:

$$|\vec{b}_1|^2 = \left(\frac{a}{2} \sqrt{1^2 + 1^2 + 0^2} \right)^2 = \left(\frac{\sqrt{2}}{2} a \right)^2 = \frac{a^2}{2}$$

$$\begin{aligned} |\vec{b}_2|^2 + |\vec{b}_3|^2 &= \left(\frac{a}{6} \sqrt{1^2 + 2^2 + (-1)^2} \right)^2 + \left(\frac{a}{6} \sqrt{2^2 + 1^2 + 1^2} \right)^2 \\ &= \left(\frac{\sqrt{6}}{6} a \right)^2 + \left(\frac{\sqrt{6}}{6} a \right)^2 = \frac{a^2}{3} \end{aligned}$$

满足能量条件,反应可以进行。

3.

(1) 单位位错的柏氏矢量 $\vec{b} = \frac{a}{2} [011]$ 。

(2) 纯刃位错的位错线方向与 \vec{b} 垂直, 且位于滑移面上, 为 $[2\bar{1}1]$; 纯螺位错的位错线与 \vec{b} 平行, 为 $[011]$ 。

$$4. \frac{c_{850^\circ\text{C}}}{c_{20^\circ\text{C}}} = \frac{A e^{-\frac{\Delta E}{k \cdot (850 + 273)}}}{A e^{-\frac{\Delta E}{k \cdot (20 + 273)}}} = e^{-\frac{104675}{1123 \times 8.31} \frac{104675}{293 \times 8.31}} = 6.3 \times 10^{13}$$

5.

(1) 见图 28-4a。

(2) 见图 28-4b。

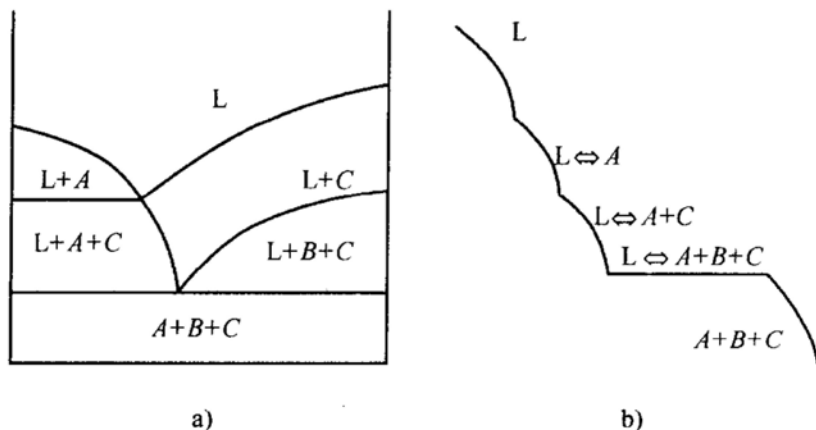


图 28-4 第二题第 5 小题解答图

三、

1.

加工硬化：是因塑性变形使位错增殖而导致的强化。

细晶强化：是由于晶粒数量增多，尺寸减小，增大了位错连续滑移的阻力导致的强化；同时由于滑移分散，也使塑性增大。该强化机制是唯一可同时增大强度和塑性的机制。

弥散强化（时效强化）：是由于细小弥散的第二相阻碍位错运动产生的强化。包括切过机制和绕过机制。

复相强化：当第二相的相对含量与基体处于相同数量级时，产生的强化。其强化程度取决于第二相的数量、尺寸、分布、形态等，且如果第二相强度低于基体则可能起不到强化作用。

固溶强化：由于溶质原子对位错运动产生阻碍。包括弹性交互作用（柯氏气团）、电交互作用（铃木气团）和化学交互作用。

2.

(1) 合金 I、II 的平衡结晶过程及冷却曲线分别示意于图 28-5a 和图 28-5b。

(2) I: $\alpha_{\text{初}} + \beta_{\text{II}}$ ，相组成与组织组成比例相同

$$w_{\alpha} = w_{\alpha_{\text{初}}} = \frac{0.90 - 0.20}{0.90 - 0.05} \times 100\% = 82.35\%$$

$$w_{\beta} = w_{\beta_{\text{II}}} = \frac{0.20 - 0.50}{0.90 - 0.05} \times 100\% = 17.65\%$$

II: $\beta_{\text{初}} + (\alpha + \beta)_{\text{共}}$

$$w_{(\alpha + \beta)_{\text{共}}} = w_{\text{L}} = \frac{0.90 - 0.80}{0.90 - 0.50} \times 100\% = 25\%$$

$$w_{\beta_{\text{初}}} = \frac{0.80 - 0.50}{0.90 - 0.50} \times 100\% = 75\%$$

$$w_{\alpha} = \frac{0.90 - 0.80}{0.90 - 0.05} \times 100\% = 11.76\%$$

$$w_{\beta} = \frac{0.80 - 0.05}{0.90 - 0.05} \times 100\% = 88.24\%$$

(3) 设所求合金成分为 x

$$w_{\beta_{\text{初}}} = \frac{x - 0.50}{0.90 - 0.50} \times 100\% = 5\%$$

$$x = 52\%$$

(4) I 合金在快冷条件下可能得到少量的共晶组织，且呈现离异共晶的形态，合金中的 β_{II} 量会减少，甚至不出现；II 合金在快冷条件下 $\beta_{\text{初}}$ 呈树枝状，且数量减少。共晶体组织变细小，相对量增加。

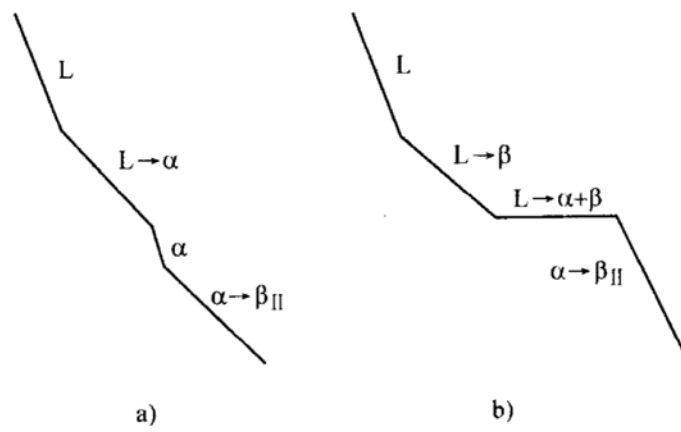


图 28-5 第三题第 2 小题解答图

试卷二十九

2006 年攻读硕士学位研究生入学 考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料类、机械类

一、简答题（每题 10 分，共 50 分）

1. 试从结合键的角度，分析工程材料的分类及其特点。
2. 位错密度有哪几种表征方式？
3. 陶瓷晶体相可分为哪两大类？有何共同特点？
4. 冷轧纯铜板，如果要求保持较高强度，应进行何种热处理？若需要继续冷轧变薄时，又应进行何种热处理？
5. 扩散激活能的物理意义为何？试比较置换扩散和间隙扩散的激活能的大小。

二、作图计算题（每题 15 分，共 60 分）

1. 已知碳在 γ -Fe 中扩散时， $D_0 = 2.0 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ， $Q = 1.4 \times 10^5 \text{ J/mol}$ 。当温度由 927°C 上升到 1027°C 时，扩散系数变化了多少倍？（气体常数 $R = 8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ ）

2. 已知某低碳钢 $\sigma_0 = 64 \text{ kPa}$ ， $K = 393.7 \text{ kPa} \cdot \mu\text{m}^{\frac{1}{2}}$ ，若晶粒直径为 $50 \mu\text{m}$ ，该低碳钢的屈服强度是多少？

3. 试计算 BCC 晶体最密排面的堆积密度。

4. $[01\bar{1}]$ 和 $[11\bar{2}]$ 均位于 FCC 铝的 (111) 晶面上，因此理论上 $(111)[01\bar{1}]$ 和 $(111)[11\bar{2}]$ 的滑移均是可能的。

(1) 画出 (111) 晶面及单位滑移矢量 $[01\bar{1}]$ 和 $[11\bar{2}]$ 。

(2) 比较具有此二滑移矢量的位错的能量。

三、综合分析题（每题 20 分，共 40 分）

1. 试从晶界的结构特征和能量特征分析晶界的特点。

2. 试分析冷塑性变形对合金组织结构、力学性能、物理化学性能、体系能量的影响。

标 准 答 案

一、

1.

金属材料：主要以金属键为主，大多数金属强度和硬度较高，塑性较好。

陶瓷材料：以共价键和离子键为主，硬、脆，不易变形，熔点高。

高分子材料：分子内部以共价键为主，分子间为分子键和氢键为主。

复合材料：是以上三中基本材料的人工复合物，结合键种类繁多，性能差异很大。

2. 有两种方式：体密度，即单位体积内的位错线长度；面密度，即垂直穿过单位面积的位错线根数。

3. 氧化物陶瓷和硅酸盐陶瓷。特点：(1) 结合键主要是离子键，含有一定比例的共价键；(2) 有确定的成分，可以用准确的分子式表达；(3) 具有典型的非金属性质。

4. 保持较高强度则应进行低温退火，使其只发生回复，去除残余应力；要继续冷变形则应进行高温退火，使其发生再结晶，以软化组织。

5. 扩散激活能的物理意义是原子跃迁过程中必须克服周围原子对其的阻碍，即必须克服势垒。相比而言，间隙扩散的激活能较小。

二、

1.

$$D_{927^{\circ}\text{C}} = D_0 \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right) = 2.0 \times 10^{-5} \exp\left(\frac{-1.4 \times 10^5}{8.31 \times (927 + 273)}\right)$$

$$D_{1027^{\circ}\text{C}} = D_0 \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right) = 2.0 \times 10^{-5} \exp\left(\frac{-1.4 \times 10^5}{8.31 \times (1027 + 273)}\right)$$

$$\frac{D_{1027^{\circ}\text{C}}}{D_{927^{\circ}\text{C}}} = \exp\left(\frac{-1.4 \times 10^5}{8.31 \times (1027 + 273)} - \frac{-1.4 \times 10^5}{8.31 \times (927 + 273)}\right)$$

$$= \exp\left(\frac{-1.4 \times 10^5}{108082} - \frac{-1.4 \times 10^5}{99768}\right)$$

$$= \exp(-12.953 + 14.033) = \exp(1.08) = 2.94$$

2. 由霍尔-配奇公式得：

$$\sigma_s = \sigma_0 + Kd^{-\frac{1}{2}} = (64 + 393.7 \times 50^{-\frac{1}{2}}) \text{kPa} = (64 + 55.68) \text{kPa} = 119.7 \text{kPa}$$

3. BCC 密排面为 $\{110\}$ 面，其面积为： $A = a \times \sqrt{2}a = \sqrt{2}a^2$

$\{110\}$ 面上被原子占据的面积为（两个原子）：

$$A' = 2 \times \pi R^2 = 2\pi \left(\frac{\sqrt{3}}{4} a \right)^2 = \frac{3}{8} \pi a^2$$

堆积密度:
$$d = \frac{A'}{A} = \frac{3}{8\sqrt{2}} \pi = 0.8332$$

4.

(1) 见图 29-1。

$$(2) \vec{b}_{[01\bar{1}]} = \frac{a}{2} [01\bar{1}], \vec{b}_{[11\bar{2}]} = \frac{a}{2} [11\bar{2}]$$

两位错位于同一滑移面, 因此 G 相同, 故

$$\frac{W_{[01\bar{1}]}}{W_{[11\bar{2}]}} = \frac{|\vec{b}_{[01\bar{1}]}|^2}{|\vec{b}_{[11\bar{2}]}|^2} = \left(\frac{1/\sqrt{2}}{\sqrt{6}/2} \right)^2 = \frac{1}{3}$$

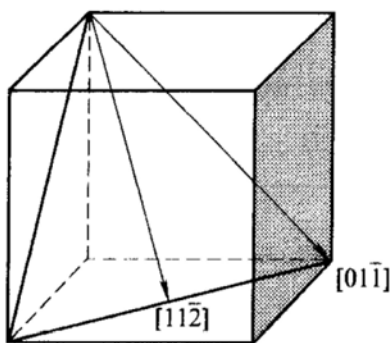


图 29-1 第二题第 4 小题解答图

三、

1.

晶界结构特征: 原子排列比较混乱, 含有大量缺陷。

晶界能量特征: 原子的能量较晶粒内部高, 活动能力强。

晶界特征:

(1) 晶界——畸变——晶界能——向低能量状态转化——晶粒长大、晶界变直——晶界面积减小。

(2) 阻碍位错运动—— σ_b 提高——细晶强化。

(3) 位错、空位等缺陷多——晶界扩散速度高。

(4) 晶界能量高、结构复杂——容易满足固态相变的条件——固态相变首先发生地。

(5) 化学稳定性差——晶界容易受腐蚀。

(6) 微量元素、杂质富集。

2.

(1) 组织结构: ①形成纤维组织, 晶粒沿变形方向被拉长; ②形成位错胞;

③晶粒转动形成变形织构。

(2) 力学性能：位错密度增大，位错相互缠绕，运动阻力增大，造成加工硬化。

(3) 物理化学性能：其变化复杂，主要对导电、导热、化学活性、化学电位等有影响。

(4) 体系能量，包括两部分：①因冷变形产生大量缺陷引起点阵畸变，使畸变能增大；②因晶粒间变形不均匀和工件各部分变形不均匀引起的微观内应力和宏观内应力。这两部分统称为存储能，其中前者为主要的。

冷变形后引起的组织性能变化为合金随后的回复、再结晶作了组织和能量上的准备。

西北工业大学

试 卷 十 六

2007 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料科学与工程

一、(每小题 10 分, 共 50 分) 简答题

1. 请说明什么是全位错和不全位错, 并请写出 FCC、BCC 和 HCP 晶体中的最短单位位错的柏氏矢量。
2. 已知原子半径与晶体结构有关, 请问当配位数降低时, 原子半径如何变化? 为什么?
3. 均匀形核与非均匀形核具有相同的临界晶核半径, 非均匀形核的临界形核功也等于三分之一表面能, 为什么非均匀形核比均匀形核容易?
4. 原子的热运动如何影响扩散?
5. 如何区分金属的热变形和冷变形?

二、(每小题 15 分, 共 60 分) 作图计算题

1. 已知某晶体在 500°C 时, 每 1010 个原子中可以形成有 1 个空位, 请问该晶体的空位形成能是多少? (已知该晶体的常数 $A = 0.0539$, 波耳兹曼常数 $k = 1.381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$)
2. 请计算简单立方晶体中, (111) 和 $(\bar{1}\bar{1}1)$ 的夹角。
3. 请判定在 FCC 晶体中下列位错反应能否进行:

$$\frac{a}{2} [10\bar{1}] + \frac{a}{6} [\bar{1}21] \rightarrow \frac{a}{3} [11\bar{1}]$$

4. 试画出立方晶体中的 (123) 晶面和 $[\bar{3}46]$ 晶向。

三、(共 40 分) 综合分析题

1. (24 分) 如图 16-1 所示, 请分析:

- (1) 两水平线的反应类型, 并写出反应式。
- (2) 分析 Ab 、 bg' 、 $g'd'$ 、 d' 、 $d'h'$ 、 $h'e$ 、 eB 七个区域室温下的组织组成物

(j 点成分小于 g 点成分)。

(3) 分析 I、II 合金的平衡冷却过程, 并注明主要的相变反应。

(4) 写出合金 I 平衡冷却到室温后相组成物相对含量的表达式及合金 II 平衡冷却到室温后组织组成物相对含量的表达式。

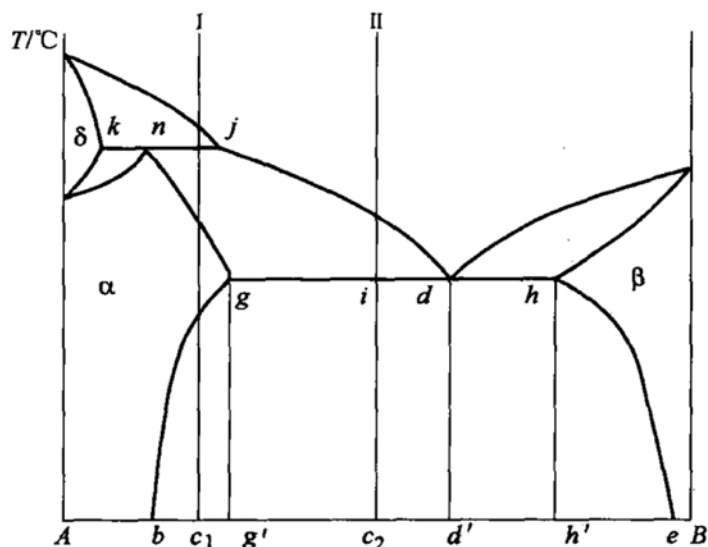


图 16-1 第三题第 1 小题图

2. (16 分) 请对比分析回复、再结晶、正常长大、异常长大的驱动力及力学性能变化, 并解释其机理。

标准答案

一、

1. 全位错: 柏氏矢量等于点阵矢量的整数倍。

不全位错: 柏氏矢量不等于点阵矢量的整数倍。

FCC: $\frac{a}{2} \langle 110 \rangle$; BCC: $\frac{a}{2} \langle 111 \rangle$; HCP: $\frac{a}{3} \langle 11\bar{2}0 \rangle$

2. 半径收缩。若半径不变, 则当配位数降低时, 会引起晶体体积增大。为了减小体积变化, 原子半径将收缩。

3. 因为非均匀形核时, 用杂质或型腔充当了一部分晶核。也就是说, 需要调动的原子数少。

4. 热运动增强将使原子的跃迁距离、跃迁几率和跃迁频率均增大, 即增大扩散系数。

5. 根据变形温度与再结晶温度的高低关系来区分。高于再结晶温度的为热

变形, 反之为冷变形。

二、

1.

$$c = A \exp \left(-\frac{\Delta E_v}{kT} \right)$$

$$\begin{aligned} \Delta E_v &= -kT \ln \frac{c}{A} = -[1.381 \times 10^{-23} \times (500 + 273)] \ln \frac{10^{-10}}{0.0539} \text{ J} \\ &= 1.068 \times 10^{-20} \times 17.8 = 1.9 \times 10^{-19} \text{ J} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \cos \alpha &= \frac{h_1 h_2 + k_1 k_2 + l_1 l_2}{\sqrt{h_1^2 + k_1^2 + l_1^2} \sqrt{h_2^2 + k_2^2 + l_2^2}} = \frac{1 - 1 + 1}{\sqrt{3} \times \sqrt{3}} = \frac{1}{3} \\ \alpha &= 70^\circ 32' \end{aligned}$$

3. 几何条件:

$$b_1 + b_2 = \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{6} \right) a + \frac{2}{6} b + \left(-\frac{1}{2} + \frac{1}{6} \right) c = \frac{1}{3} a + \frac{1}{3} b - \frac{1}{3} c = \frac{a}{3} \quad (11\bar{1})$$

能量条件:

$$\left| \frac{a}{2} \sqrt{2} \right|^2 + \left| \frac{a}{6} \sqrt{6} \right|^2 = \left(\frac{a^2}{2} + \frac{a^2}{6} \right) = \frac{2a^2}{3} > \frac{a^2}{3}$$

满足几何条件和能量条件, 反应可以进行。

4. 如图 16-2 所示。

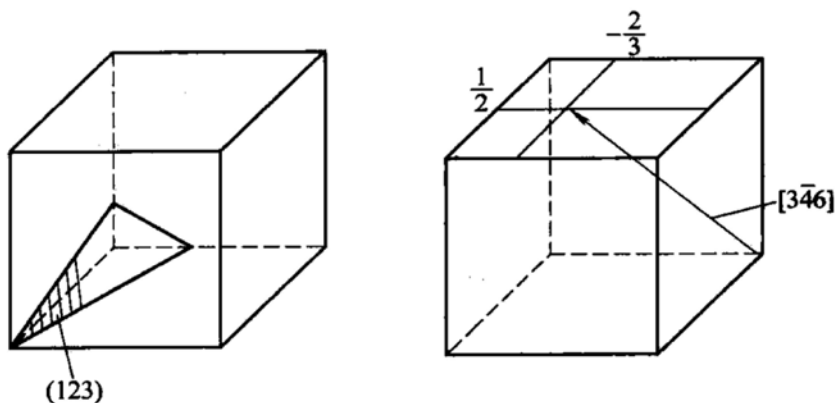


图 16-2 第二题第 4 小题解答图

三、

1.

(1) 水平线 kj 为包晶反应: $L_j + \delta_k \rightarrow \alpha_n$ 。

水平线 gh 为共晶反应: $L_d \rightarrow \alpha_g + \beta_h$ 。

(2) $Ab: \alpha$

$bg': \alpha + \beta_{II}$

$g'd': \alpha + (\alpha + \beta)_{共} + \beta_{II}$

$d': (\alpha + \beta)_{共}$

$$\begin{aligned} d'h': \beta + (\alpha + \beta)_{\text{共}} + \alpha_{\text{II}} & \quad h'e: \beta + \alpha_{\text{II}} \\ eB: \beta & \end{aligned}$$

(3) 分析略。如图 16-3 所示。

(4) 合金 I 相组成: $w_{\alpha} = \frac{ec_1}{be} \times 100\%$; $w_{\beta} = \frac{bc_1}{be} \times 100\%$ 。

合金 II 组织组成:

$$w_{(\alpha+\beta)_{\text{共}}} = \frac{ig}{gd} \times 100\% ;$$

$$w_{\beta_{\text{II}}} = \alpha_{\text{初}} \text{ 共晶前析出量} \times \beta_{\text{II}} \text{ 析出比例} = \frac{id}{gd} \times \frac{bg'}{be} \times 100\% ;$$

$$w_{\alpha_{\text{初}}} = \alpha_{\text{初}} \text{ 共晶前析出量} - \beta_{\text{II}} \text{ 析出量} = \frac{id}{gd} \times 100\% - w_{\beta_{\text{II}}}。$$

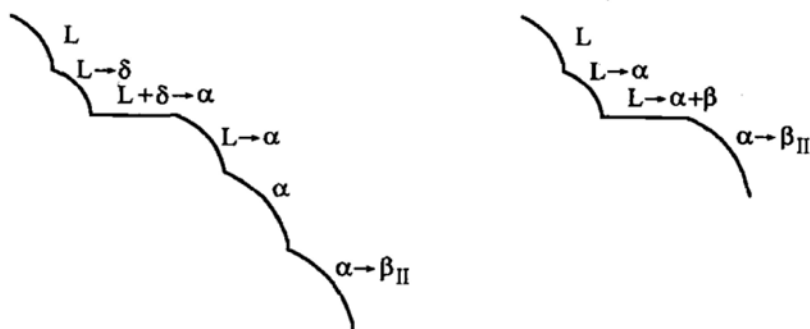


图 16-3 第三题第 1 小题解答图

2.

	回复	再结晶	正常长大	异常长大
驱动力	存储能 (主要是点阵畸变能)	存储能 (主要是点阵畸变能)	总界面能	总界面能 和表面能
力学性能变化	基本保持 变形后性能	恢复到冷 变形前的水平	基本保持 再结晶后的水平	性能恶化, 强度、塑性下降

试 卷 十 七

2008 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料科学与工程

一、(每小题 10 分, 共 60 分) 简答题

1. 固态下, 无相变的金属, 如果不重熔, 能否细化晶粒? 如何实现?
2. 固体中有哪些常见的相结构?
3. 何谓平衡结晶? 何谓非平衡结晶?
4. 扩散第一定律的应用条件是什么? 对于浓度梯度随时间变化的情况, 能否应用扩散第一定律?
5. 何为织构? 包括哪几类?
6. 什么是成分过冷? 如何影响固溶体生长形态?

二、(每小题 15 分, 共 60 分) 作图计算题

1. 请分别写出 FCC、BCC 和 HCP 晶体的密排面、密排方向, 并计算密排面间距和密排方向上原子间距。
2. 请绘出面心立方点阵晶胞, 并在晶胞中绘出 (110) 晶面; 再以 (110) 晶面平行于纸面, 绘出 (110) 晶面原子剖面图, 并在其上标出 $[001]$ 、 $[\bar{1}\bar{1}2]$ 、 $[\bar{1}11]$ 晶向。
3. 已知 H70 黄铜在 400°C 时完成再结晶需要 1h, 而在 390°C 下完成再结晶需 2h, 请计算在 420°C 下完成再结晶需要多长时间。
4. 一个 FCC 晶体在 $[\bar{1}23]$ 方向在 2MPa 正应力下屈服, 已测得开动的滑移系是 (111) $[\bar{1}01]$, 请确定使该滑移系开动的分切应力 τ 。

三、(共 30 分) 综合分析题

1. (17 分) 请根据 Fe-Fe₃C 相图分析回答下列问题:
 - (1) 请分析 2.0wt% C 合金平衡状态下的结晶过程, 并说明室温下的相组成和组织组成。
 - (2) 请分析 2.0wt% C 合金在较快冷却, 即不平衡状态下, 可能发生的结晶过程, 并说明室温下组织会发生什么变化。
 - (3) 假设将一无限长纯铁棒置于 930°C 渗碳气氛下长期保温, 碳原子仅由棒顶端渗入 (如图 17-1 所示), 试分析并标出 930°C 和缓冷至室温时的组织分布情

况（绘制在答题纸上）。

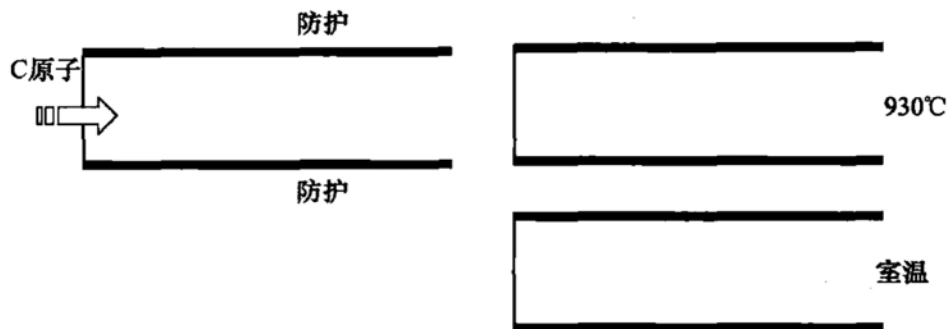
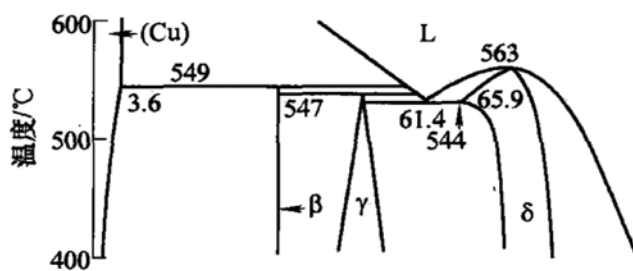
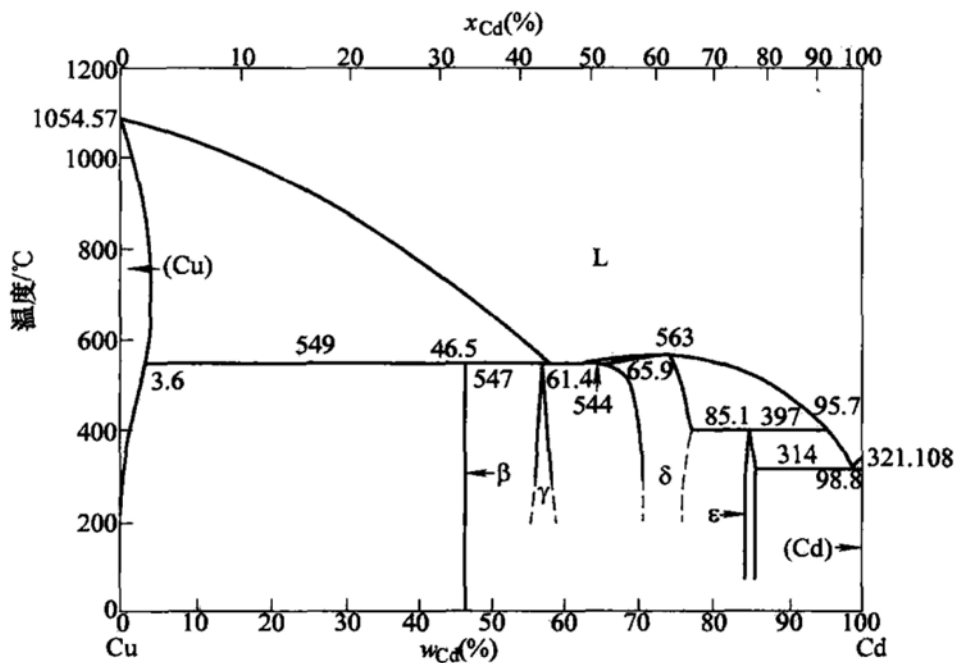


图 17-1 第三题第 1 小题图

2. (13 分) 图 17-2 所示为 Cu-Cd 二元相图全图及其 400 ~ 600℃ 范围的局部放大：

(1) 请根据相图写出 549℃、547℃、544℃、397℃ 和 314℃ 五条水平线的三相平衡反应类型及其反应式。



Cu-Cd二元相图的局部放大

图 17-2 第三题第 2 小题图

(2) 已知 β 相成分为 $w_{\text{Cd}} = 46.5\%$ ， 400°C 时 γ 相的成分为 $w_{\text{Cd}} = 57\%$ ，请计算 400°C 时 $w_{\text{Cd}} = 50\%$ 合金的相组成。

标准答案

一、

1. 可以。通过进行较大的冷变形，而后在适当温度再结晶的方法获得细晶。或进行热加工，使之发生动态再结晶。

2. 固体中常见的相结构有：固溶体（单质）、化合物、陶瓷晶体相、非晶相、分子相。

3. 平衡结晶是指结晶速度非常缓慢、液相和固相中扩散均很充分的情况下的结晶。非平衡结晶是指结晶速度比较快、扩散不充分的情况下的结晶。

4. 扩散第一定律的应用条件是稳态扩散，即与时间无关的扩散。对于非稳态扩散的情况也可以应用扩散第一定律，但必须对其进行修正。

5. 织构是晶体中晶面、晶向趋于一致的现象。织构包括再结晶织构和变形织构。其中变形织构又包括丝织构和板织构。

6. 凝固过程中，随液固界面的推进，液固界面附近液相一侧产生溶质原子富集，导致液相的熔点发生变化，由此产生的过冷现象称为成分过冷。无成分过冷时，固溶体以平面状生长，形成等轴晶；有较小过冷度时，形成胞状组织；有较大成分过冷时，形成树枝晶。

二、

1.

晶体结构	密排面	密排方向	密排面间距	密排方向原子间距
FCC	{111}	$\langle 110 \rangle$	$\frac{\sqrt{3}}{3}a$	$\frac{\sqrt{2}}{2}a$
BCC	{110}	$\langle 111 \rangle$	$\frac{\sqrt{2}}{2}a$	$\frac{\sqrt{3}}{2}a$
HCP	{0001}	$\langle 11\bar{2}0 \rangle$	$\frac{1}{2}c$	a

2. 如图 17-3 所示。

3. 在两个不同的恒定温度产生相同程度的再结晶时

$$\frac{t_1}{t_2} = e^{-\frac{Q}{R}(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1})}$$

$$\frac{t_1}{t_3} = e^{-\frac{Q}{R}(\frac{1}{T_3} - \frac{1}{T_1})}$$

两边取对数，并比之得

2.

(1) 549℃: 包晶反应, $(\text{Cu}) + \text{L} \rightarrow \beta$

547℃: 包晶反应, $\beta + \text{L} \rightarrow \gamma$

544℃: 共晶反应, $\text{L} \rightarrow \gamma + \delta$

397℃: 包晶反应, $\delta + \text{L} \rightarrow \varepsilon$

314℃: 共晶反应, $\text{L} \rightarrow \varepsilon + (\text{Cd})$

$$(2) w_{\beta} = \frac{57 - 50}{57 - 46.5} \times 100\% = 66.7\%$$

$$\text{或 } w_{\gamma} = \frac{50 - 46.5}{57 - 46.5} \times 100\% = 33.3\%$$

试 卷 十 八

2009 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料科学与工程

一、(每小题 10 分, 共 60 分) 简答题

1. 在位错发生滑移时, 请分析刃位错、螺位错和混合位错的位错线 l 与柏氏矢量 b 、外加切应力 τ 与柏氏矢量 b 、外加切应力 τ 与位错线 l 之间的夹角关系, 及位错线运动方向。

位错类型	b 与 l	τ 与 b	τ 与 l	位错线运动方向
刃位错				
螺位错				
混合位错				

2. 什么是置换固溶体? 影响置换固溶体固溶度的因素有哪些? 形成无限固溶体的条件是什么?

3. 置换扩散与间隙扩散的扩散系数有何不同? 在扩散偶中, 如果是间隙扩散, 是否会发生柯肯达尔效应? 为什么?

4. 在室温下对铁板 (其熔点为 1538°C) 和锡板 (其熔点为 232°C) 分别进行来回弯折, 随着弯折的进行, 各会发生什么现象? 为什么?

5. 何为固溶强化? 请简述其强化机制。

6. 请比较二元共晶转变与包晶转变的异同。

二、(每小题 10 分, 共 40 分) 作图计算题

1. 请比较 FCC 晶体中 $b_1 = \frac{a}{2} [111]$ 和 $b_2 = a [100]$ 两位错的畸变能哪个较大。

2. 面心立方晶体沿 $[001]$ 方向拉伸, 可能有几个滑移系开动? 请写出各滑移系指数, 并分别绘图示之。

3. 在 Al 单晶中, (111) 面上有一位错 $b_1 = \frac{a}{2} [10\bar{1}]$, $(11\bar{1})$ 面上有另一位错 $b_2 = \frac{a}{2} [011]$ 。若两位错发生反应, 请绘出新位错, 并判断其性质。

4. 请分别写出立方晶系中 $\{110\}$ 和 $\{100\}$ 晶面族包括的晶面。

三、(每小题 25 分, 共 50 分) 综合分析题

1. 请分析影响回复和再结晶的因素各有哪些, 以及影响因素的异同, 并分析其原因。

2. 图 18-1 为 Ti-Al 二元合金相图。

(1) 请分析并分别写出 1285℃、1125℃ 和 665℃ 三个恒温转变的类型和反应式, 以及 882℃ 时发生两相恒温转变的类型和反应式。

(2) 请绘出 $w = 31\%$ 合金平衡结晶的冷却曲线, 并注明各阶段的主要相变反应。

(3) 请分析 500℃ 时, $w = 31\%$ 的合金平衡结晶的相组成物和组织组成物, 并计算其质量分数。(注: 1125℃ 时, $w_{\alpha\text{Ti}} = 27\%$, $w_{\text{Ti}_3\text{Al}} = 26\%$, $w_{\text{TiAl}} = 35\%$; 500℃ 时, $w_{\text{Ti}_3\text{Al}} = 23\%$, $w_{\text{TiAl}} = 35\%$)

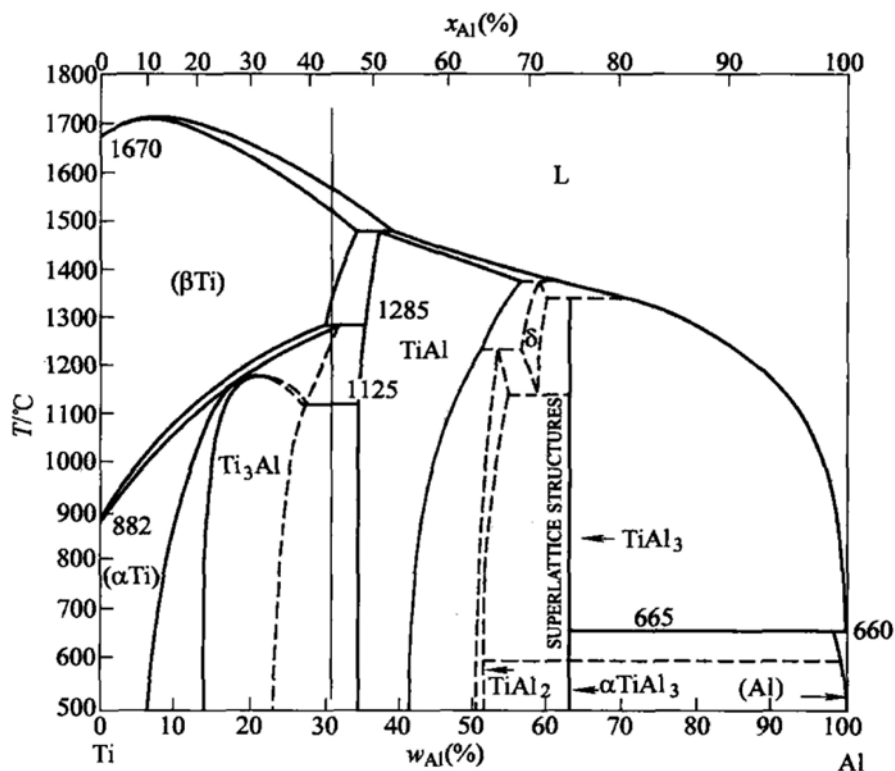


图 18-1 第三题第 2 小题图

标准答案

一、
1.

类型	b 与 l	τ 与 b	τ 与 l	位错线运动方向
刃位错	\perp	//	\perp	法线
螺位错	//	//	//	法线
混合位错	一定角度	// (分量)	一定角度	法线

2. 溶质原子取代溶剂原子, 并保持溶剂结构的合金相称为置换固溶体。影响因素有: ①原子尺寸; ②晶体结构; ③电负性; ④电子浓度。两组元晶体结构相同是形成无限固溶体的必要条件。

3. 间隙扩散系数与空位浓度无关, 而置换扩散系数与空位浓度有关 (可用公式表示)。一般地, 间隙扩散系数大于置换扩散系数。

不会发生。因为间隙扩散中考虑间隙原子定向流动, 未考虑置换互溶式扩散。

4. 根据 $T_{\text{再}} = (0.35 \sim 0.45) T_m$ 可知, Fe 在室温下加工为冷加工, Sn 在室温下加工为热加工。

因此随着弯曲的进行, 铁板发生加工硬化, 继续变形, 导致铁板断裂。

Sn 板属于热加工, 产生动态再结晶, 弯曲可长时间弯折。

5. 固溶强化就是溶质原子阻碍位错运动, 从而使合金强度提高的现象。主要机制包括: ①柯氏气团, 即溶质原子的弹性应力场阻碍位错运动; ②铃木气团, 即溶质原子降低基体层错能, 使位错分解为扩展位错, 阻碍位错交滑移或攀移; ③电交互作用, 即带电溶质原子与位错形成静电交互作用, 阻碍位错运动。

6. 相同点: 恒温、恒成分转变; 相图上均为水平线。

不同点: 共晶为分解型反应, 包晶为成型反应; 共晶线全是固相线, 包晶线只有部分是固相线; 共晶三角在水平线上, 包晶三角在水平线下。

二、

$$1. |b_1| = \frac{a}{2} \sqrt{1+1+1} = \frac{\sqrt{3}}{2}a$$

$$|b_2| = a \sqrt{1+0+0} = a$$

故: b_1 的畸变能较小。

2. 共 12 个滑移系, 其中可能开动的有 8 个, 如图 18-2 所示。

3. 新位错为 $b_3 = \frac{a}{2} [110]$ 。位错线为 (111) 面与 $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ 面的交线 $[\bar{1}10]$ 。两者垂直, 因此是刃型位错。如图 18-3 所示。

4. $\{110\}$: (110) (101) (011) ($\bar{1}\bar{1}0$) ($\bar{1}0\bar{1}$) ($0\bar{1}\bar{1}$)

$\{100\}$: (100) (010) (001) ($00\bar{1}$) ($0\bar{1}0$) ($\bar{1}00$)

三、

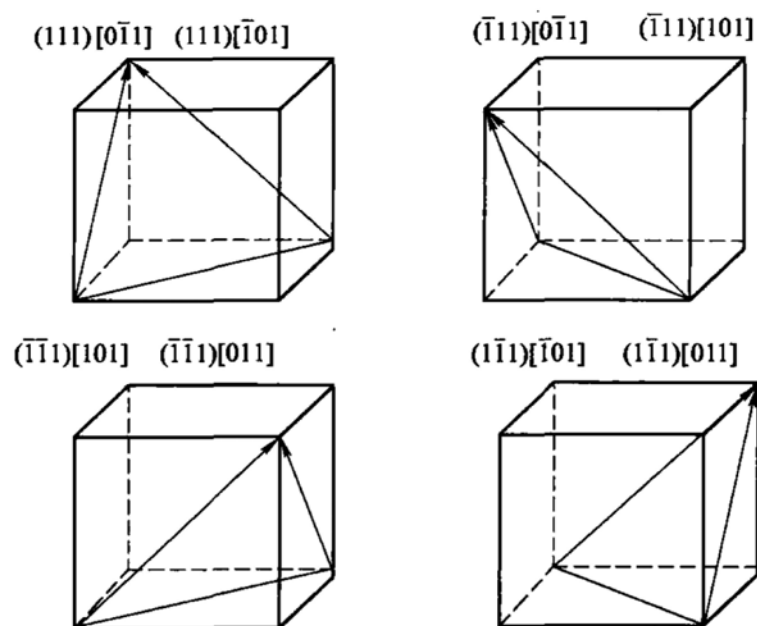


图 18-2 第二题第 2 小题解答图

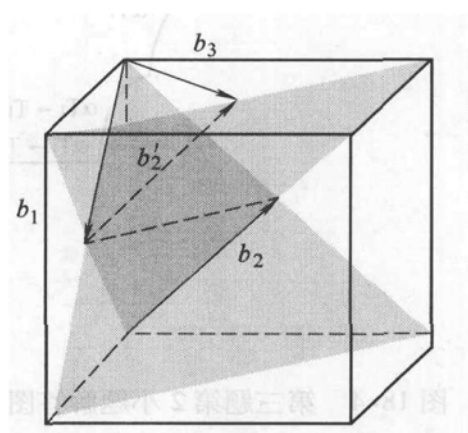


图 18-3 第二题第 3 小题解答图

1.

	回复	再结晶	原因
温度 (升)	促进	促进	促进原子扩散
冷变形量 (增大)	促进	促进	提供驱动力
溶质原子	阻碍	阻碍	阻碍位错和晶界的运动
第二相粒子	促进	促进或阻碍	既可能提高驱动力, 同时也阻碍位错和晶界运动
原始晶粒 (细小)	促进	促进	增大再结晶驱动力
晶粒位向	无影响	无影响	
热蚀沟	无影响	一般无影响	尚未形成热蚀沟

2. (1) 1285℃: 包析反应, $\beta\text{Ti} + \text{TiAl} \rightarrow \alpha\text{Ti}$
 1125℃: 共析反应, $\alpha\text{Ti} \rightarrow \text{Ti}_3\text{Al} + \text{TiAl}$
 665℃: 包晶反应, $\text{L} + \text{TiAl}_3 \rightarrow \text{Al}$
 882℃: 同素异构转变, $\beta\text{Ti} \rightarrow \alpha\text{Ti}$

(2) 如图 18-4 所示。

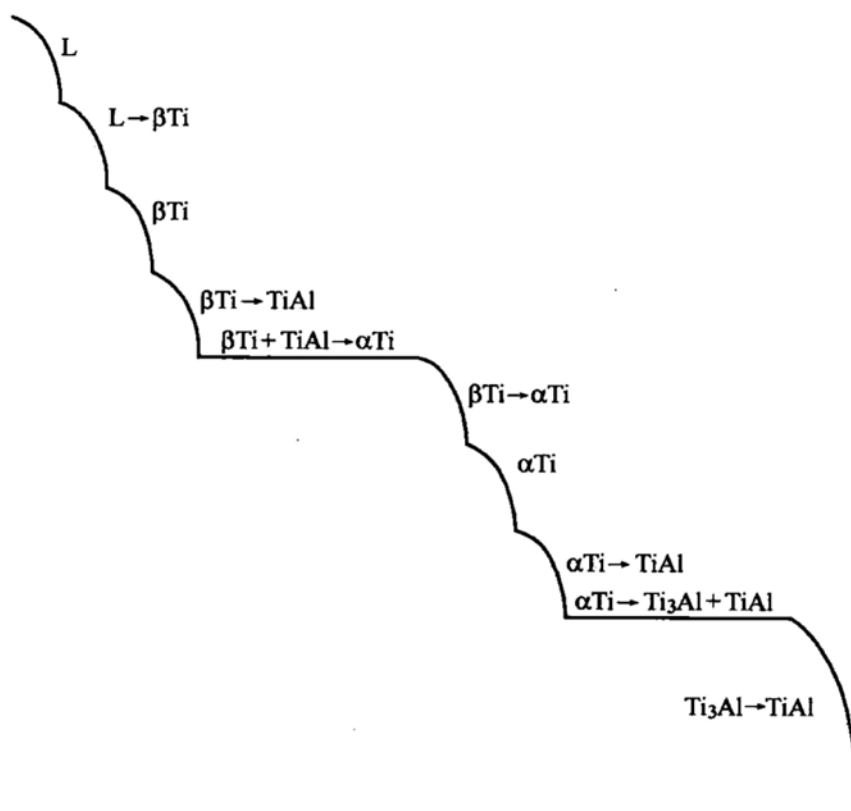


图 18-4 第三题第 2 小题解答图

(3) 相组成: Ti_3Al 、 TiAl 。

$$w_{\text{Ti}_3\text{Al}} = \frac{35 - 31}{35 - 23} \times 100\% = 33.3\%$$

$$w_{\text{TiAl}} = 1 - w_{\text{Ti}_3\text{Al}} = 66.7\%$$

组织组成: TiAl 、 $(\text{Ti}_3\text{Al} + \text{TiAl})_{\text{共}}$ 。

$$w_{\text{TiAl}} = \frac{31 - 27}{35 - 27} \times 100\% = 50\%$$

$$w_{(\text{Ti}_3\text{Al} + \text{TiAl})_{\text{共}}} = 1 - w_{\text{TiAl}} = 50\%$$