

试 卷 十 五

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：材料学、材料物理与化学、材料加工工程

一、名词解释 (20 分, 每题 2 分)

1. 位错 非平衡态 2. 高分子链的构型 弹性变形与塑性变形的区别 3. 平衡分凝系数 平衡分凝系数 4. 均匀形核 平衡分凝系数 5. 活性 活性 6. 上坡扩散 上坡扩散 7. 储存能 储存能 8. 再结晶 再结晶 9. 伪共析 伪共析 10. 惯习面 惯习面

二、填空 (20 分, 每空 1 分)

1. 高岭石属于层状硅酸盐结构, 一层是 (1), 一层是 (2)。
2. 晶体内部构造的对称要素是除 C 、 P 、 L^n 和 L^n 外的 (3) 和 (4)。
3. 三元相图中, 共晶点是 (5) 相平衡, 自由度为 (6)。
4. 链段是用来描述高分子的 (7) 性。
5. \triangle CaO 掺杂到 ZrO_2 中, 其中 Ca^{2+} 离子置换了 Zr^{4+} 离子, 由于电中性要求, 以上置换同时产生一个 (8) 缺陷, 可用 (9) 缺陷反应方程表示。
$$\text{CaO} \xrightarrow{\text{ZrO}_2} \text{Ca}_{\text{Zr}}'' + \text{V}_\text{O}^{\bullet\bullet} + \text{O}_\text{O}$$

6. 固态相变形核的驱动力是 (10), 阻力主要是 (11) 和 (12)。
7. 小角度晶界由位错构成, 其中 对称倾转晶界 由 (13) 位错构成, 扭转晶界由 (14) 位错构成。
8. 强化金属材料的方法有 固溶强化、细晶强化、位错强化 和 析出强化。
9. 线性高分子可反复使用, 又称为 (15); 交联高分子不能反复使用, 称为热固性塑料。

三、判断正误 (10 分, 每题 1 分)

1. 过饱和点缺陷是热力学平衡缺陷。 \times
2. 晶体结构不同就不能形成连续固溶体。 \checkmark
3. 离子键性可以由两个原子的电负性决定。 \times
4. 匀晶转变过程是一个恒温转变过程。 \times
5. 同一滑移面上, 符号相同的刃位错相互作用的结果是使位错彼此远离。 \checkmark
6. 贝氏体转变中, Fe 、 C 原子均不发生扩散。 \times
7. 再结晶完成后, 在不同条件下可能发生正常晶粒长大和异常晶粒长大。 \checkmark

8. 晶粒越细小, 晶体强度、硬度越高, 塑性、韧性越差。X
 9. 多晶体材料塑性变形至少需要 5 个独立滑移系开动。X
 10. 结构简单、规整度高、对称性好的高分子容易结晶。✓

四、(15 分) 金红石结构为四方晶系 (如图 15-1 所示)。Ti⁴⁺ 和 O²⁻ 的离子半径分别为 61pm 和 140pm (1pm = 0.001nm), 电负性分别为 1.54 和 3.44。请问:

1. 该结构属于哪种晶体, 钛氧之间是哪种化学键? (3 分)
 2. 钛和氧的配位数各是多少, 是否合理? (3 分)
 3. 用静电价规则判断结构稳定性。 (3 分)
 4. 钛填充的是氧堆积的哪种空隙, 占结构中这种空隙总量的多少? (3 分)
 5. 画出钛氧配位多面体。 (3 分)

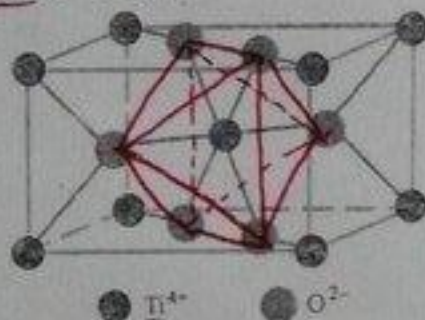
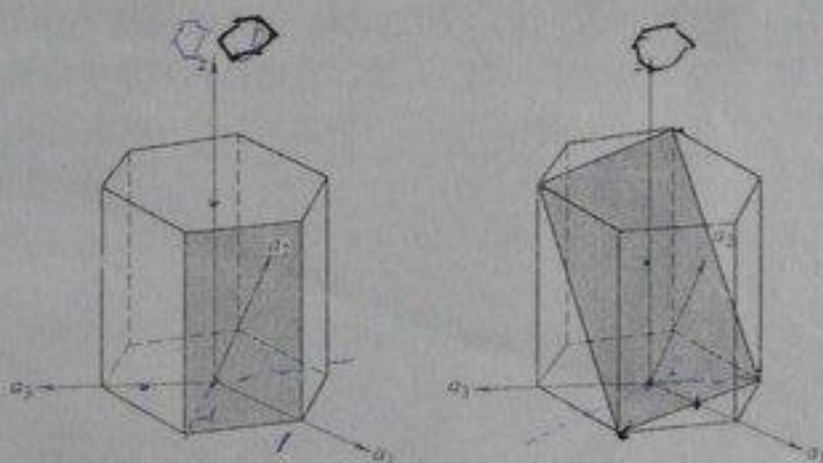


图 15-1 第四题图

五、(10 分) 图 15-2 所示晶胞属于哪种格子构造? 在图中标记高次对称轴, 用四轴表示法写出阴影表示的晶面。



(2 1 0 0) (1 1 0 0)

(1/2 1 1/2 1)

⇒ (2 1 1 2)

图 15-2 第五题图

1/2 1 1/2
 (1 1 1 2)
 四面体数取倒

$\frac{4}{6} \times 3 = 2$

$z^- = \frac{\sum S_i}{\sum CN_i}$
 $= \frac{4}{6} \times 3 = 2$

电子数
 四面体数

六、(15分) 试分析在面心立方金属中，位错的柏氏矢量为 $b_1 = \frac{a}{2} [10\bar{1}]$

$b_2 = \frac{a}{6} [121]$, $b_3 = \frac{a}{3} [111]$ 。位错反应 $b_1 + b_2 = b_3$ 能否进行，并指出其中3个位错分别是什么类型的位错，反应后生成的位错能否在滑移面上运动。

七、(15分) 镍-铅相图示于图 15-3。

1. 请写出恒温转变的名称和反应式，标出转变温度(含单组分)。

2. 画出含铅 20% 的合金的步冷曲线和相组成图。

3. 写出含铅 20% 的合金析晶路线。

4. 计算含铅 20% 的合金相组成。

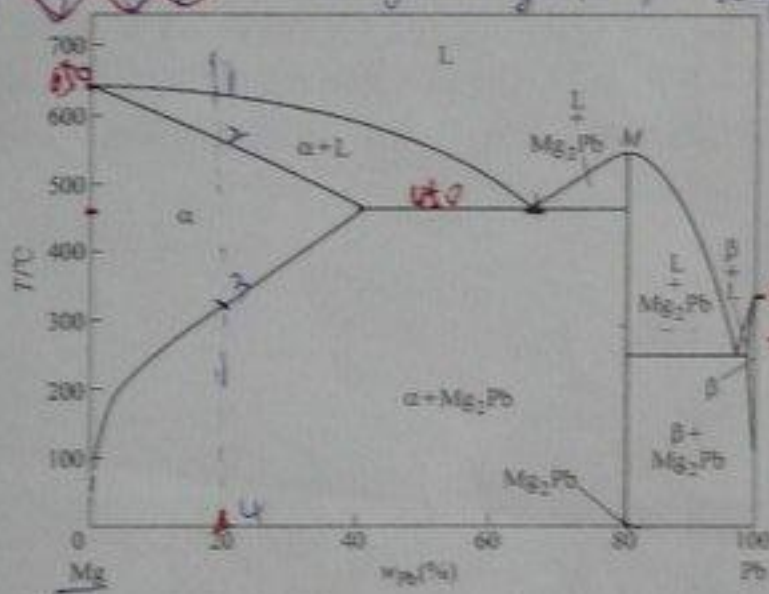


图 15-3 第七题图

八、(10分) 影响晶态固体中原子扩散的因素有哪些？并加以简单说明。

九、(10分) 金属发生塑性变形后，显微组织、结构发生什么变化？性能发生哪些变化？

十、(10分) 什么是时效？试说明其产生时效强化的原因。

十一、(15分)

1. 试说明多晶结构材料晶粒越细小晶体强度越高的原因。

2. 已知：当退火后纯铁的晶粒大小为 16 个/ mm^2 时，屈服强度 $\sigma_s = 100 \text{ N/mm}^2$ ；当晶粒大小为 4096 个/ mm^2 时， $\sigma_s = 250 \text{ N/mm}^2$ 。求晶粒大小为 256 个/ mm^2 时，屈服强度 σ_s 的值。

$$\sigma_s = \sigma_0 + k d^{-1/2}$$

$$A = k d_1^{-1/2} = k \left(\frac{16}{800} \right)^{-1/2}$$

$$d_2 = \left(\frac{A}{\sigma_s} \right)^2$$

$$\sigma_s = \sigma_0 + k \left(\frac{16}{800} \right)^{-1/2}$$

$$\Rightarrow \sigma_s =$$

标准答案

一、

1. 位错滑移: 在一定应力作用下, 位错线沿滑移面移动的位置运动。
2. 高分子链的构型: 高分子中由化学键所固定的原子在空间的几何排列。
3. 平衡分凝系数: 平衡凝固时, 固相内溶质浓度与液相内的溶质浓度之比。
4. 均匀形核: 在均一相中靠自身结构起伏和能量起伏等条件形成晶核。
5. 活性氧: 硅酸盐结构中部分电价未饱和的氧。
6. 上坡扩散: 在化学位差为驱动力的条件下, 原子由低浓度位置向高浓度位置进行的扩散。
7. 储存能: 冷变形所消耗能量的一小部分以弹性应变能和结构缺陷能的形式存在于变形晶体内部, 称为储存能。再结晶的驱动力。
8. 再结晶: 经受形变的材料在加热时发生的以无畸变晶粒取代变形晶粒的过程。
9. 伪共析: 非平衡转变过程中, 处在共析成分点附近的亚共析或过共析合金, 转变终了组织全部成共析组织形态。
10. 惯习面: 固态相变时新相往往沿母相特定晶面形成, 此晶面称为惯习面。

二、(1) 硅氧四面体层; (2) 铝氧八面体层; (3) 平移轴; (4) 滑移面; (5) 螺旋轴; (6) 四; (7) 0; (8) 柔顺; (9) 空位; (10) $\text{CaO} \xrightarrow{\text{ZnO}} \text{Ca}_{2\text{O}} + \text{V}_{\text{O}} + \text{O}_{\text{O}}$; (11) 新相和母相的自由能之差; (12) 界面能; (13) 应变能; (14) 刃; (15) 螺; (16) 固溶; (17) 位错; (18) 细晶; (19) 弥散 (或沉淀相颗粒); (20) 热塑性塑料。

三、1. \times ; 2. \checkmark ; 3. \times ; 4. \times ; 5. \checkmark ; 6. \times ; 7. \checkmark ; 8. \times ; 9. \times ; 10. \checkmark 。

四、

1. 离子晶体: $\Delta\chi = \chi_{\text{O}} - \chi_{\text{Ti}} = 3.44 - 1.54 = 1.9 > 1.7$, Ti-O 属离子键。(3分)
2. $R_{\text{Ti}}/R_{\text{O}} = 61\text{pm}/140\text{pm} = 0.44$, $0.414 < 0.44 < 0.732$, Ti 离子的配位数为 6, 合理。O 离子配位数为 3。(3分)

$$3. \sum \frac{S_i}{\text{CN}_i} = \frac{4}{6} \times 3 = 2。结构稳定。(3分)$$

4. 钛填充的是氧八面体空隙, 只填充了 $1/2$ 八面体空隙。(3分)

5. 配位多面体如图 15.4 所示。(3分)

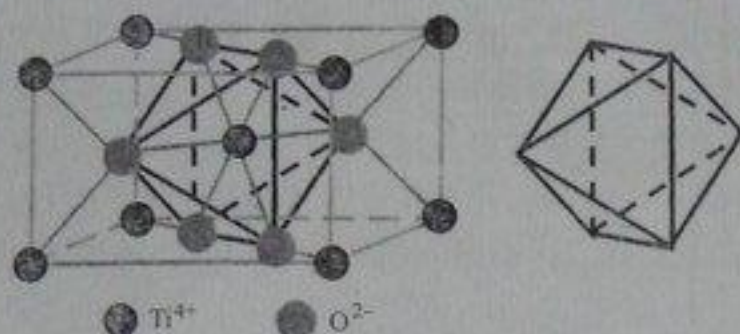


图 15-4 第四题第 5 小题解答图

五、

- (1) 属六方原始格子。(2 分)
- (2) 六次旋转轴 L^6 如图 15-5 所示。(2 分)
- (3) 图 15-5a 中的阴影面为 $(1\bar{1}00)$ ；(3 分) 图 15-5b 中的阴影面为 $(2\bar{1}12)$ 。(3 分)

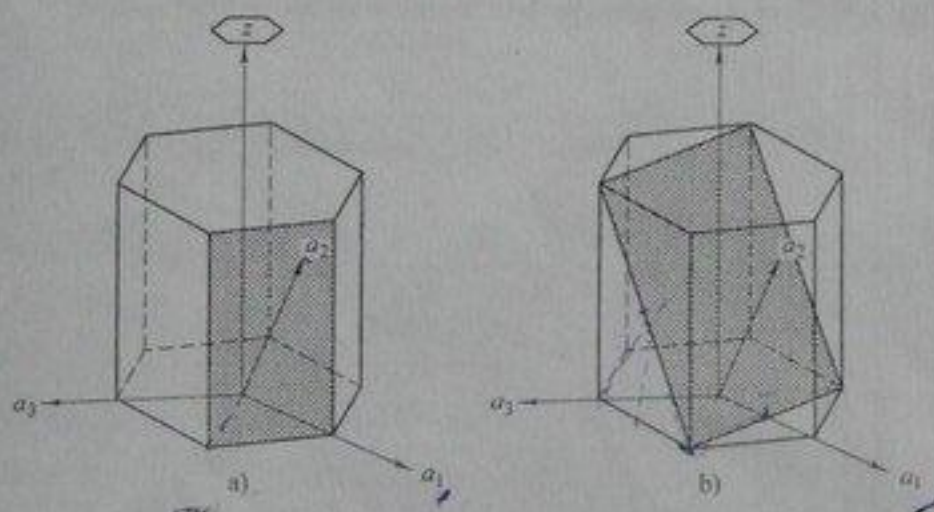


图 15-5 第五题解答图

六、

几何条件: $\vec{b}_1 + \vec{b}_2 = \frac{a}{2} [10\bar{1}] + \frac{a}{6} [\bar{1}21] = \frac{a}{3} [1\bar{1}\bar{1}]$, $\vec{b}_3 = \frac{a}{3} [1\bar{1}\bar{1}]$,
满足几何条件;

能量条件: 反应后 $|\vec{b}_3|^2 = \frac{a^2}{9} \times (\sqrt{1+1+1})^2 = \frac{a^2}{3}$

$$\text{反应前 } \sum |\vec{b}_i|^2 = \frac{a^2}{4} \times (\sqrt{1+0+1})^2 + \frac{a^2}{36} \times (\sqrt{1+4+1})^2 = \frac{2a^2}{3}$$

$\frac{2a^2}{3} > \text{反应后 } |\vec{b}_3|^2$; 满足能量条件, 反应 $\vec{b}_1 + \vec{b}_2 \rightarrow \vec{b}_3$ 可以进行。(10分)

\vec{b}_1 : 单位位错; \vec{b}_2 : 肖克莱不全位错; \vec{b}_3 : 弗兰克不全位错。(3分)

面心立方金属滑移面为 $\{111\}$, \vec{b}_3 垂直该晶面, 故不能滑移。(2分)

七、

1. 结晶 $L \rightarrow Mg$ ($650^\circ C$)。

共晶反应 $L \rightarrow \alpha + Mg_2Pb$ ($450^\circ C$)。

结晶 $L \rightarrow Mg_2Pb$ ($520^\circ C$)。

共晶反应 $L \rightarrow Mg_2Pb + \beta$ ($250^\circ C$)。

结晶 $L \rightarrow Pb$ ($310^\circ C$)。(5分)

2. 见图 15-6。(4分)

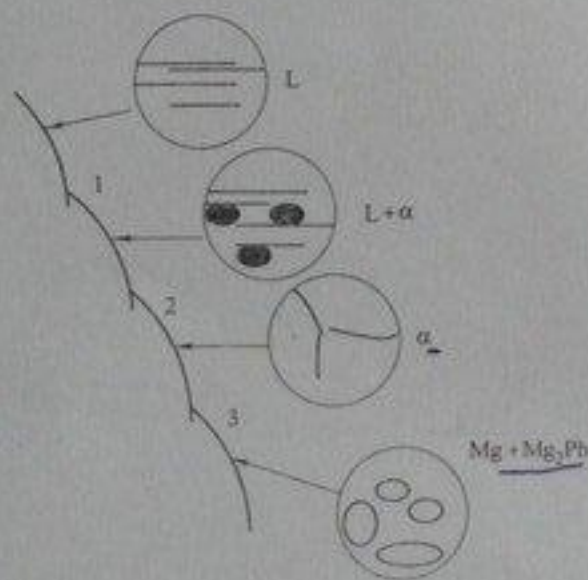


图 15-6 第七题第 2 小题解答图

$$\Delta 3. L \xrightarrow[f=2]{f=1} 1 \xrightarrow[f=1]{f=2} 2 \xrightarrow[f=2]{f=1} 3 \xrightarrow[f=1]{f=2} 4 \quad (3 \text{ 分})$$

$$4. \text{Mg: } C = \frac{81-20}{81} = 75.31\%; \text{Mg}_2\text{Pb: } C = \frac{20}{81} = 24.69\% \quad (3 \text{ 分})$$

$$\text{反应前 } \sum_i |\vec{b}_i|^2 = \frac{a^2}{4} \times (\sqrt{1+0+1})^2 + \frac{a^2}{36} \times (\sqrt{1+4+1})^2 = \frac{2a^2}{3}$$

> 反应后 $|\vec{b}_3|^2$; 满足能量条件, 反应 $\vec{b}_1 + \vec{b}_2 \rightarrow \vec{b}_3$ 可以进行。(10分)

\vec{b}_1 : 单位位错; \vec{b}_2 : 肖克莱不全位错; \vec{b}_3 : 弗兰克不全位错。(3分)

面心立方金属滑移面为 $\{111\}$, \vec{b}_3 垂直该晶面, 故不能滑移。(2分)

七、
1. 结晶 $L \rightarrow Mg$ (650°C)。

共晶反应 $L \rightarrow \alpha + Mg_2Pb$ (450°C)。

结晶 $L \rightarrow Mg_2Pb$ (520°C)。

共晶反应 $L \rightarrow Mg_2Pb + \beta$ (250°C)。

结晶 $L \rightarrow Pb$ (310°C)。(5分)

2. 见图 15-6。(4分)

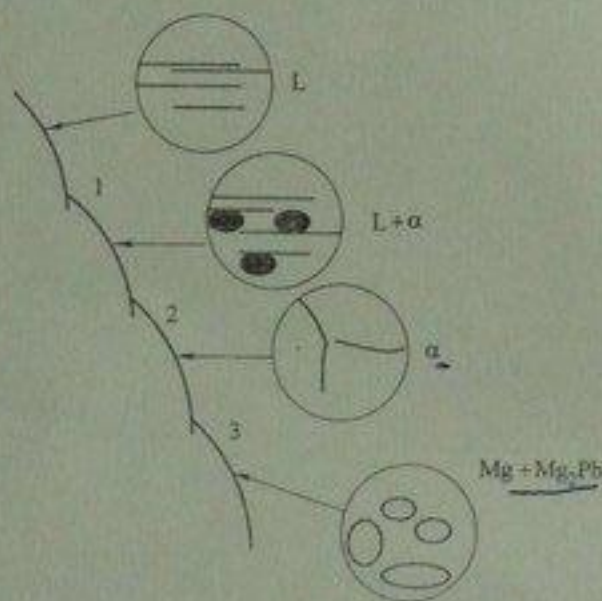


图 15-6 第七题第 2 小题解答图

$$\Delta \quad 3. \quad L \xrightarrow{f=2} 1 \xrightarrow{f=1} 2 \xrightarrow{f=2} 3 \xrightarrow{f=1} 4 \quad (3 \text{ 分})$$

$$4. \quad \underline{Mg}: C = \frac{81-20}{81} = 75.31\%; \quad \underline{Mg_2Pb}: C = \frac{20}{81} = 24.69\% \quad (3 \text{ 分})$$

八、

1. 温度 温度越高，扩散系数越大，扩散速率越快。(2分)
2. 晶体结构及固溶体类型，致密度较小的晶体结构中扩散激活能较小，扩散易于进行；对称性较低的晶体结构，扩散系数的各向异性显著；间隙固溶体中的扩散激活能远小于置换固溶体，扩散容易进行。(4分)
3. 第三组元，根据加入的第三组元的性质不同，有的促进扩散，有的阻碍扩散。(2分)
4. 晶体缺陷，沿晶界的扩散系数远大于本扩散系数；沿位错管道扩散时扩散激活能较小，因而位错加速扩散。(2分)

九、金属发生塑性变形后，显微组织形态上，原等轴晶粒沿变形方向被拉长，在大形变量时晶界甚至呈纤维状，如存在硬脆的第二相颗粒或夹杂，常沿变形方向呈条状分布。(3分)

显微结构上，缺陷（空位和位错）密度明显增大，由于变形过程中位错的增殖及运动过程中位错的交割和交互作用，形成位错缠结，异号位错相消后构成胞状结构。随形变量增加，位错的数量增多，尺寸减小，晶体内部的储存能增大。(4分)

性能上，冷变形金属将发生加工硬化，表现为强度显著提高，塑性明显下降。(3分)

十、时效是指过饱和固溶体在室温或较高温度保留一段时间，有第二相从基体中所析出的过程。(3分)

时效析出过程受扩散控制，在析出过程中可能形成一系列介稳相（过渡相）。时效强化的原因，一是当析出亚稳相介稳相且与母相有一定取向关系时，会在基体内产生应力场效应，可使合金明显强化；(2分)二是，在合金承受变形时，由于位错颗粒与位错的交互作用，使合金得到强化。如果沉淀相颗粒可以变形，位错切过时，增加颗粒的表面积需要做功，增大了位错运动的阻力而使合金得到强化。如果沉淀相颗粒强度高且与基体非共格，位错线难以切过颗粒，在外加应力的作用下将绕过颗粒，留下位错环，合金要继续变形，需要克服颗粒对位错线绕过时施加的应力，因此需要进一步增大外加应力，即合金获得了时效强化。(5分)

十一、

1. 多晶体材料塑性变形时，粗大晶粒的晶界处塞积的位错数目多，形成较大的应力场能够使相邻晶粒内的位错源启动，使变形继续；相反，细小晶粒的晶界处塞积的位错数目少，要使变形继续，必须施加更大的外加作用力以激活相邻晶粒内的位错源，因此，细晶材料要发生塑性变形需要更大外部作用力，即晶粒越细小晶粒强度越高。(5分)

102 材料科学基础考研试题汇编 2002—2006

2. 根据 Hall-Petch 公式: $\sigma_s = \sigma_0 + K_y d^{-1/2}$, 由平均晶粒尺寸 d 计算材料的屈服强度 σ_s 。

由等面积圆半径表示晶粒尺寸, 即:

$$d_1 = (4A_1/\pi)^{1/2} \quad d_2 = (4A_2/\pi)^{1/2}$$

A_1 和 A_2 为晶粒面积。于是

$$\sigma_{s1} = \sigma_0 + K_y d_1^{-1/2} \quad \sigma_{s2} = \sigma_0 + K_y d_2^{-1/2}$$

由已知, $A_1 = 1/16 \text{ mm}^2$, $A_2 = 1/4096 \text{ mm}^2$, $\sigma_{s1} = 100 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_{s2} = 250 \text{ N/mm}^2$, 代入上式中, 求出 $K_y = 25\sqrt{2}\pi^{-1/4} \text{ N/mm}^{3/2}$, $\sigma_0 = 50 \text{ N/mm}^2$ 。再由 $A_3 = 1/256 \text{ mm}^2$, 求出 $\sigma_{s3} = 150 \text{ N/mm}^2$ 。(10 分)

$$4\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2 = A$$

d 为直径

$$4\pi r^2 = A$$