

西安交通大学

试卷四十一

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：材料科学与工程

说明：从下列六题中任意选做五题，每题 20 分。若六题全做，则得分最高的一题不计入总分。

一、

1. 在同一个立方晶胞内画出 $(\bar{1}11)$ 晶面和 $[11\bar{2}]$ 晶向，在同一个六方晶胞内画出 $(10\bar{1}1)$ 晶面和 $[11\bar{2}3]$ 晶向。

2. 写出面心立方结构晶体中所有可能的滑移系。

3. 在铜（面心立方结构）单晶体的 $[123]$ 晶向上对其进行拉伸，写出首先开动的滑移系。

4. 写出面心立方结构晶体中滑移系 $(111)[\bar{1}01]$ 的交滑移系。

二、Ti-Al 二元合金相图如图 41-1 所示。

1. 分别写出图中 1285°C 、 1125°C 、 665°C 三个温度时所发生的三相恒温转变的名称及反应式，以及 882°C 时所发生的两相恒温转变的名称及反应式。

2. 分析 Al 质量分数 $w_{\text{Al}} = 30\%$ 的合金的平衡结晶过程，写出 500°C 时的相组成物及组织组成物，并计算它们的质量分数。

三、

1. 铁-碳合金中可能存在的渗碳体有哪几种？

2. 这些渗碳体各在什么温度或温度范围通过什么反应生成？并写出反应式。

3. 这些渗碳体在形态、大小和分布上有何不同？

4. 这些不同种类的渗碳体对铁-碳合金的力学性能将产生怎样的影响？

四、

1. 什么是金属的加工硬化现象？

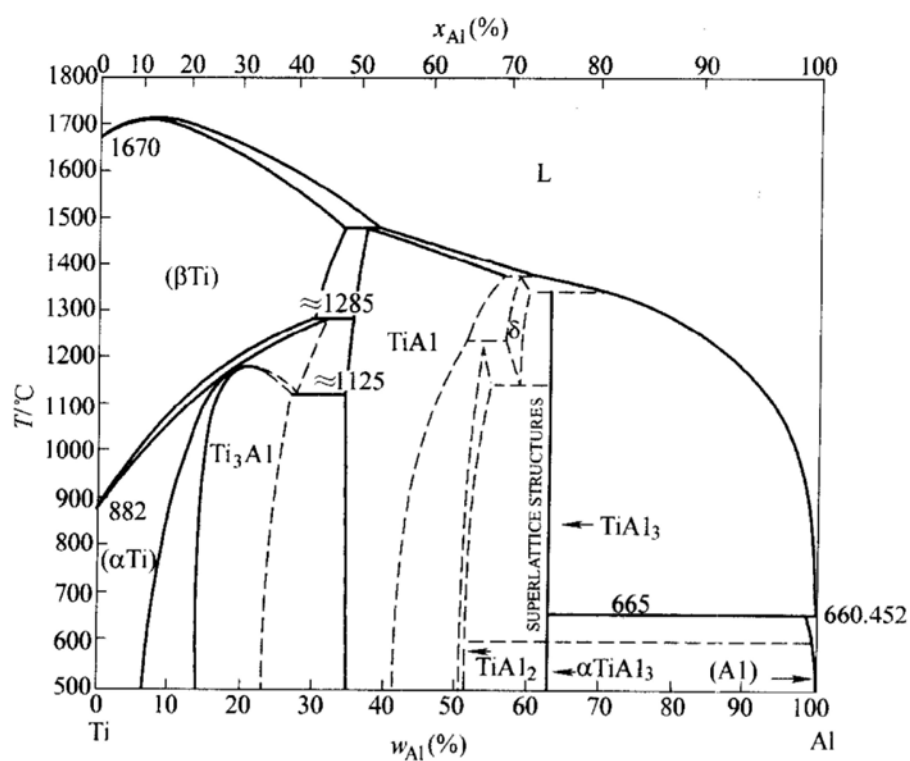


图 41-1 第二题图

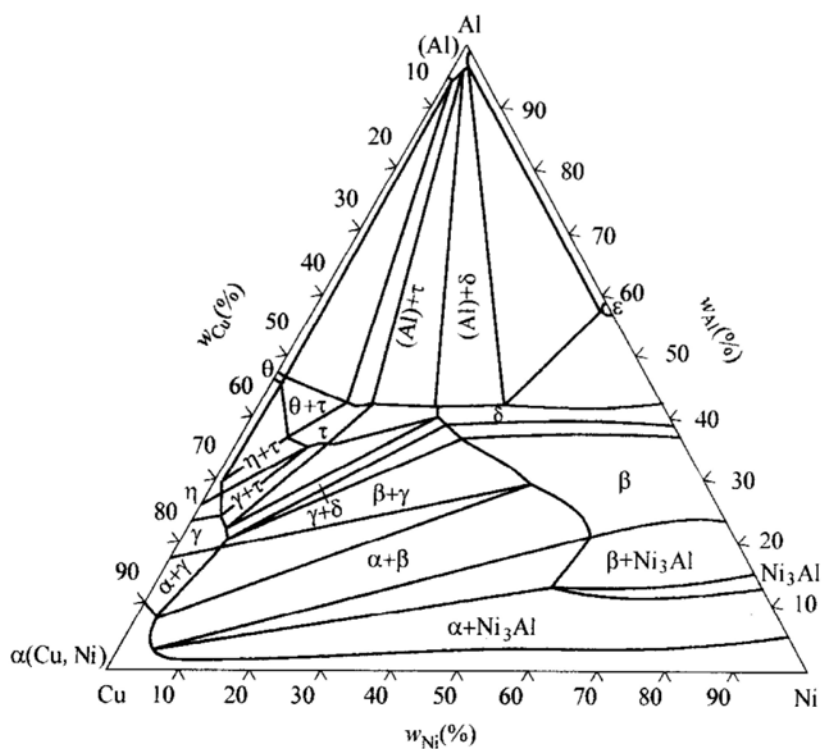


图 41-2 第六题图

2. 用位错理论解释纯金属单晶体产生加工硬化的原因。
3. 金属的加工硬化特性对金属材料的使用带来哪些利弊？

五、

1. 示意画出 n 型半导体电导率随温度的变化曲线。
2. 用能带理论定性解释上述曲线。

六、Al-Cu-Ni 三元合金相图的 500°C 等温截面如图 41-2 所示。

1. 在图中标出合金 A ($w_{\text{Al}} = 20\%$, $w_{\text{Cu}} = 40\%$, $w_{\text{Ni}} = 40\%$) 和合金 B ($w_{\text{Al}} = 60\%$, $w_{\text{Cu}} = 10\%$, $w_{\text{Ni}} = 30\%$) 的位置。
2. 分别写出合金 A 和合金 B 中的平衡相, 以及各相的成分点 (在图中用字母表示)。
3. 分别计算合金 A 和合金 B 中各平衡相的质量分数 (可用字母列式表示)。

标准答案

一、

1. 分别如图 41-3a 和图 41-3b 所示。

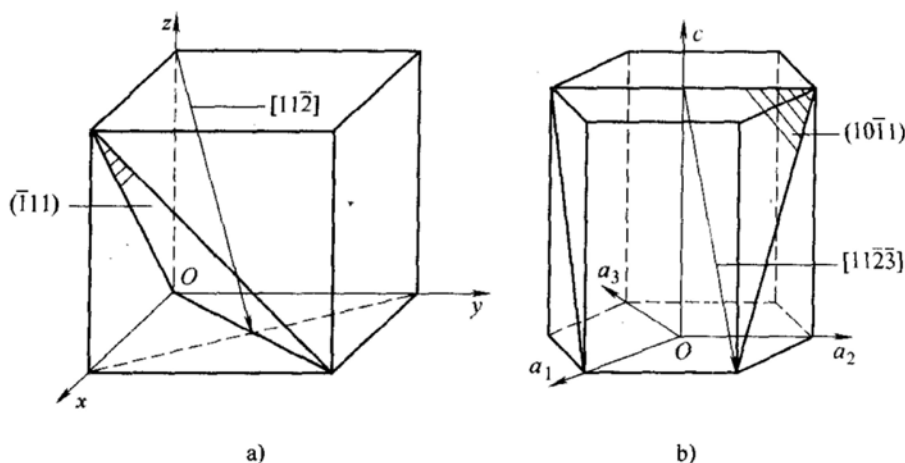


图 41-3 第一题第 1 小题解答图

2. 共 12 个: $(111) [1\bar{1}0]$, $(111) [10\bar{1}]$, $(111) [0\bar{1}1]$, $(\bar{1}11) [110]$, $(\bar{1}11) [101]$, $(\bar{1}11) [01\bar{1}]$, $(1\bar{1}1) [110]$, $(1\bar{1}1) [10\bar{1}]$, $(1\bar{1}1) [011]$, $(11\bar{1}) [1\bar{1}0]$, $(11\bar{1}) [101]$, $(11\bar{1}) [011]$ 。

3. $(\bar{1}11) [101]$ 。

4. $(1\bar{1}1) [\bar{1}01]$ 。

二、

1. 1285°C: 包析转变, $(\beta\text{Ti}) + \text{TiAl} \rightleftharpoons (\alpha\text{Ti})$ 。

1125°C: 共析转变, $(\alpha\text{Ti}) \rightleftharpoons \text{Ti}_3\text{Al} + \text{TiAl}$ 。

665°C: 包晶转变, $\text{TiAl}_3 + \text{L} \rightleftharpoons (\text{Al})$ 。

882°C: 同素异构转变, $\alpha\text{Ti} \rightleftharpoons \beta\text{Ti}$ 。

2. 如图 41-4 所示, 合金成分线与相图中的相区分界线分别交于 1 点、2 点、3 点、1285°C、4 点、5 点、1125°C。

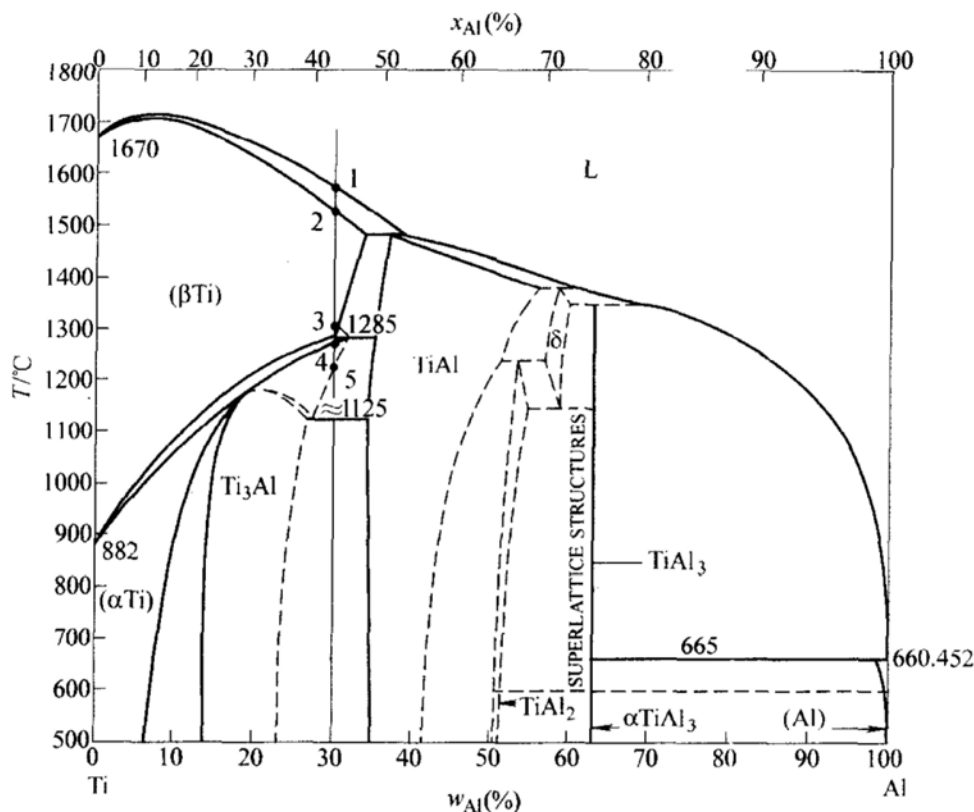


图 41-4 第二题第 2 小题解答图

在 T_1 温度以上, 是液相的简单冷却。温度降至稍低于 T_1 , 开始发生匀晶转变, 从液相中结晶出 (βTi) 相, 至 T_2 时, 全部为 (βTi) 相。 $T_2 \sim T_3$, 是 (βTi) 相的简单冷却。温度降至稍低于 T_3 , 开始发生二次析出转变, $(\beta\text{Ti}) \rightarrow \text{TiAl}$, 从 (βTi) 中析出 TiAl 相。温度降至 1285°C 时, 发生包析转变, $(\beta\text{Ti}) + \text{TiAl} \rightarrow (\alpha\text{Ti})$, 但 (βTi) 有剩余。1285°C $\sim T_4$, 剩余的 (βTi) 发生同素异构转变, $(\beta\text{Ti}) \rightarrow (\alpha\text{Ti})$, 温度降至 T_4 时, 全部为 (αTi) 相。 $T_4 \sim T_5$, 是 (αTi) 相的简单冷却。温度降至稍低于 T_5 , 开始发生二次析出转变, $(\alpha\text{Ti}) \rightarrow \text{TiAl}_{\text{II}}$, 从 (αTi) 中析出二次 TiAl 。温度降至 1125°C 时, 剩余的 (αTi) 发生共析转变, $(\alpha\text{Ti}) \rightarrow (\text{Ti}_3\text{Al} + \text{TiAl})_{\text{共析}}$ 。温度继续下降, $(\text{Ti}_3\text{Al} + \text{TiAl})_{\text{共析}}$ 中的 Ti_3Al 相发生二次析出转变, $\text{Ti}_3\text{Al} \rightarrow \text{TiAl}$, 但所析出的 TiAl 仍属于 $(\text{Ti}_3\text{Al} + \text{TiAl})_{\text{共析}}$ 中的一部分。至 500°C

时, 合金中的相组成物为 $\text{Ti}_3\text{Al} + \text{TiAl}$, 组织组成物为 $\text{TiAl}_{\text{II}} + (\text{Ti}_3\text{Al} + \text{TiAl})_{\text{共析}}$ 。
相组成物: $\text{Ti}_3\text{Al} + \text{TiAl}$, 其中

$$w_{\text{Ti}_3\text{Al}} \approx \frac{35 - 20}{35 - 23} \times 100\% = 41.7\%$$

$$w_{\text{TiAl}} = 1 - w_{\text{Ti}_3\text{Al}} \approx 58.3\%$$

组织组成物: $(\text{Ti}_3\text{Al} + \text{TiAl})_{\text{共析}} + \text{TiAl}_{\text{II}}$, 其中

$$w_{\text{TiAl}_{\text{II}}} \approx \frac{30 - 27}{35 - 27} \times 100\% = 37.5\%$$

$$w_{(\text{Ti}_3\text{Al} + \text{TiAl})_{\text{共析}}} = 1 - w_{\text{TiAl}_{\text{II}}} \approx 62.5\%$$

三、

1. 一次渗碳体, 共晶渗碳体, 二次渗碳体, 共析渗碳体, 三次渗碳体。

2.

(1) 一次渗碳体: $> 1148^\circ\text{C}$, 匀晶反应, $\text{L} \rightarrow \text{Fe}_3\text{C}_1$ 。

(2) 共晶渗碳体: 1148°C , 共晶反应, $\text{L} \rightarrow (\gamma + \text{Fe}_3\text{C})_{\text{共晶}}$ 。

(3) 二次渗碳体: $1148 \sim 727^\circ\text{C}$, 二次析出反应, $\gamma \rightarrow \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$ 。

(4) 共析渗碳体: 727°C , 共析反应, $\gamma \rightarrow (\alpha + \text{Fe}_3\text{C})_{\text{共析}}$ 。

(5) 三次渗碳体: $< 727^\circ\text{C}$, 二次析出反应, $\alpha \rightarrow \text{Fe}_3\text{C}_{\text{III}}$ 。

3.

(1) 一次渗碳体: 规则条状, 粗大, 分布在莱氏体基体上。

(2) 共晶渗碳体: 作为莱氏体的连续基体。

(3) 二次渗碳体: 分布在转变为珠光体的原奥氏体晶界处, 量较少时为不连续的颗粒状, 量较多时为连续的网状。

(4) 共析渗碳体: 规则层片状, 较小, 与层片状铁素体交替分布构成珠光体。

(5) 三次渗碳体: 不连续的颗粒状, 少量, 分布在铁素体晶界处。

4.

(1) 一次渗碳体: 提高硬度但降低韧性。

(2) 共晶渗碳体: 提高硬度但降低韧性。

(3) 二次渗碳体: 提高硬度但降低韧性; 不连续的颗粒状提高强度, 而连续的网状降低强度。

(4) 共析渗碳体: 提高硬度和强度但降低韧性。

(5) 三次渗碳体: 提高硬度和强度但降低韧性。

四、

1. 金属材料在塑性变形过程中, 所施加的流变应力随应变量的增大而不断

增大的现象,称为加工硬化。或金属材料经冷塑性变形后,其强度、硬度升高,塑性、韧性下降的现象,称为加工硬化。

2. ①位错间发生交截,产生的割阶阻碍位错运动;②位错间发生反应,形成固定位错阻碍位错运动;③位错发生增殖,位错密度的增加使位错运动阻力进一步增大。

3. 有利方面:作为提高金属材料强度的一种手段;便于金属材料塑性成形;使金属零件得以抵抗偶然过载。不利方面:使金属难以进一步冷塑性变形。

五、

1. 如图 41-5 所示。

2. n 型半导体中的载流子包括掺杂的施主电子及本征半导体固有的电子和空穴,但施主电子跃迁所需克服的能垒 E_d 小于本征电子和空穴跃迁所需克服的能垒 $E_g/2$ 。温度较低时,本征电子和空穴的热激活跃迁几率很小,而施主电子跃迁几率较大且随温度升高而呈指数增大,此时电导率主要由掺杂的施主电子提供。当施主电子全部跃迁或称耗尽,而本征电子和空穴的热激活跃迁几率仍然很小,载流子浓度几乎不随温度升高而变化,电导率几乎为常数。温度进一步升高,本征电子和空穴的热激活跃迁几率明显呈指数增大,电导率也随之呈指数增大。

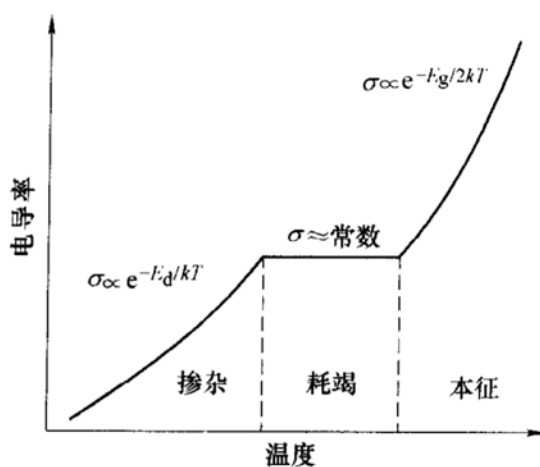


图 41-5 第五题第 1 小题解答图

六、

1. 如图 41-6 所示。

2. 合金 A: 平衡相 $\alpha + \beta$, α 的成分为 a 点, β 的成分为 b 点;

合金 B: 平衡相 $\epsilon + (\text{Al}) + \delta$, ϵ 的成分为 c 点, (Al) 的成分为 d 点; δ 的成分为 e 点。

$$3. \text{合金 A: } w_a = \frac{\overline{Ab}}{\overline{ab}} \times 100\% \quad w_\beta = \frac{\overline{aA}}{\overline{ab}} \times 100\%$$

$$\text{合金 B: } w_\epsilon = \frac{\overline{fB}}{\overline{fc}} \times 100\% \quad w_{(\text{Al})} = \frac{\overline{ef}}{\overline{ed}} \times \frac{\overline{Bc}}{\overline{fc}} \times 100\%$$

$$w_\delta = \frac{\overline{df}}{\overline{ed}} \times \frac{\overline{Bc}}{\overline{fc}} \times 100\%$$

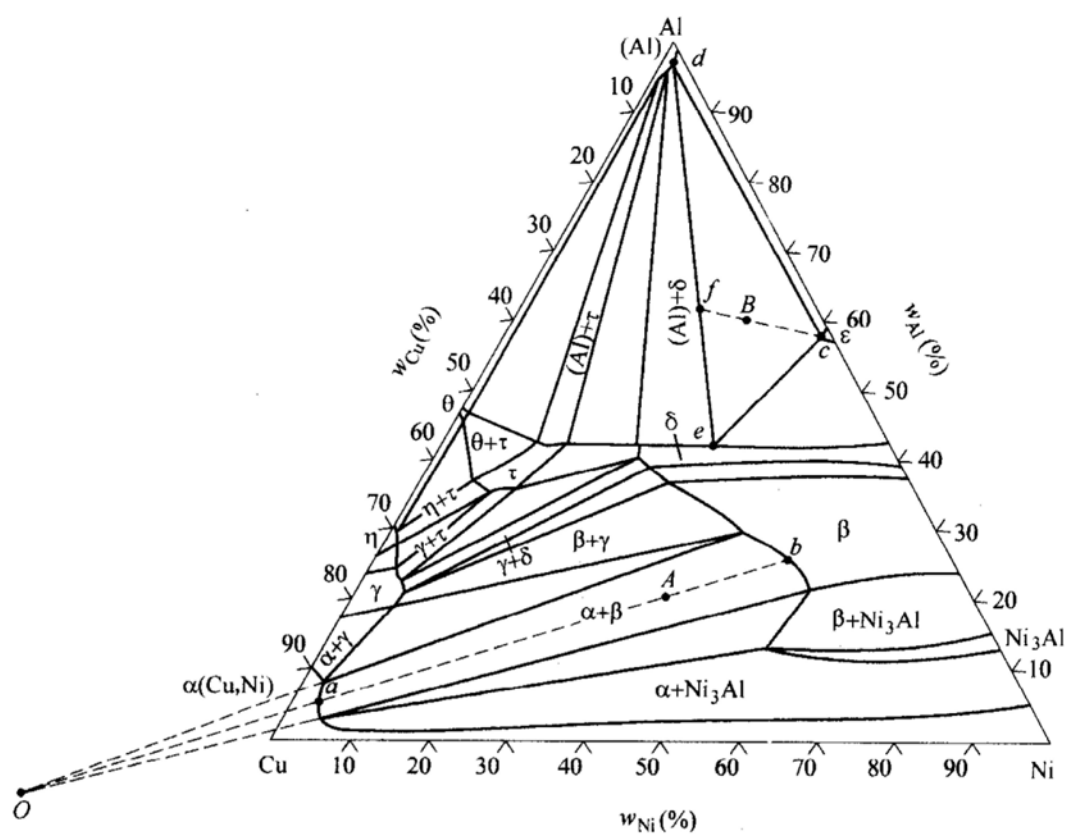


图 41-6 第六题解答图

试卷四十二

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：材料科学与工程

一、术语解释（共 15 分，每题 3 分）

(1) 单位位错 (2) 晶胞 (3) 固溶体 (4) 临界晶核 (5) 临界变形度

二、判断题（31 分）

1. (7 分) 图 42-1 为两种材料中原子结合的键能曲线，回答：

- (1) 哪种材料的弹性模量大？
- (2) 哪种材料的热膨胀系数大？
- (3) 依据图 42-1，示意画出两种材料的

键力曲线。

2. (6 分) 判断下列物质的主要结合键

CaO SiC GaAs Cu₃Al

* 离子键的相对比值可参考公式：

$$\text{离子键相对比值} = 1 - \exp\left[-\frac{1}{4} (x_A - x_B)^2\right]$$

式中， x_A 、 x_B 分别为 A、B 元素的电负性。

以下为相关元素的电负性值：

元素	O	Ca	Cu	Al	Si	Ga	As	C
电负性	3.44	1.00	1.90	1.61	1.90	1.81	2.18	2.55

3. (6 分) 计算下列化合物中阳离子的配位数

MgO Cr₂O₃ CaF₂ K₂O

$r(\text{Mg}^{2+}) = 0.078\text{nm}$ $r(\text{O}^{2-}) = 0.132\text{nm}$ $r(\text{Cr}^{3+}) = 0.064\text{nm}$

$r(\text{Ca}^{2+}) = 0.106\text{nm}$ $r(\text{F}^-) = 0.133\text{nm}$ $r(\text{K}^+) = 0.132\text{nm}$

4. (6 分) 有一铸件，浇注后其组织如图 42-2a 所示，若欲使浇注后得到图 42-2b 所示的组织状态，对下述条件应如何选择 (✓)

铸 模：	金属模	砂模
模子温度：	预热	不预热
浇注温度：	提高	降低

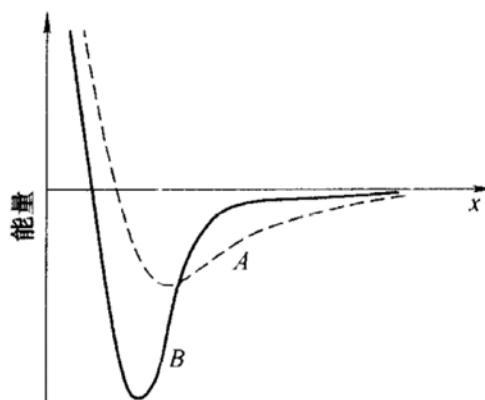


图 42-1 第二题第 1 小题图

5. (6分) 判断下列说法是否正确:

(1) 冷变形金属经回复退火后, 其力学性能可以恢复到变形前的状态。

(2) 再结晶是一个成核及核心长大的过程, 因此它是一种相变过程。

(3) 再结晶核心长大伴随着晶界的移动, 故其驱动力为晶界能。

(4) 晶体中的点缺陷是一种热力学平衡缺陷, 而位错不是热力学平衡缺陷。

(5) 刃位错可以发生交滑移。

(6) 金属的热(变形)加工与冷(变形)加工是以变形加工的温度高低来区别的。

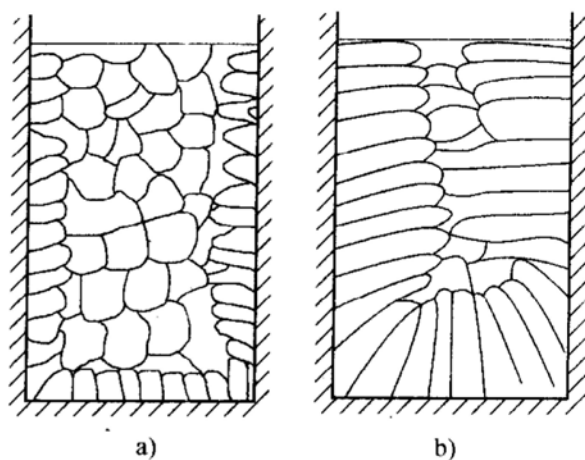


图 42-2 第二题第 4 小题图

三、(44分) 问答题

1. (3分) 固体中原子的扩散必须具备哪些基本条件?

2. (9分)

(1) 扩散可以分为哪几种基本类型?

(2) 在间隙固溶体中及置换固溶体中, 溶质原子各以何种机制进行扩散?

(3) 均匀奥氏体晶粒的长大以及扩散退火时晶内偏析的均匀化各属何种类型的扩散?

3. (8分) 两个无限长的纯金属 A 和 B 的棒状试样, 若金属组元 A 及 B 组成的相图如图 42-3 所示。

(1) 将 A 及 B 金属棒对焊后在 T_1 温度下加热 t 时间, 试画出 w_A 沿棒 (x) 的分布状态。

(2) 若 B 棒中的 w_A 随时间 (t) 及距离 (x) 的变化情况可用方程 (T_1 温度):

$C(x, t) = a + b \operatorname{erf}(\beta)$ 来描述。试写出边界条件, 并确定出方程中的系数 a 和 b 。

* 在此问题中, 设 A、B 界面处 $x = 0$, 距离 (x) 沿 B 棒正向增加 (B 棒单无限长)

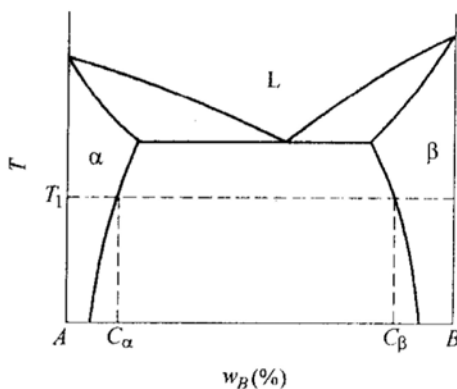


图 42-3 第三题第 3 小题图

$$\beta = \frac{x}{2\sqrt{Dt}} \quad \operatorname{erf}(\beta) \Big|_{x=0} = 0 \quad \operatorname{erf}(\beta) \Big|_{x \rightarrow \infty} = 1$$

4. (6分) 金属材料经冷塑性变形后会出现加工硬化现象。玻璃化温度 (T_g) 较低的热塑性塑料变形后是否也会出现“加工硬化”现象? 陶瓷材料呢? 并请简单解释。

5. (5分) 本征半导体与掺杂半导体的导电机制有何不同?

6. (10分) 何谓电子磁矩、原子磁矩及物质固有磁矩? 物质的磁性与原子核外电子的填充情况有何关系?

7. (3分) 金属材料、陶瓷材料及高分子材料各是以何种机制导热的?

四、(30分) 相图

1. (5分) 写出二元系相图中所有可能的三相平衡反应的名称及反应式。

2. (15分) Fe-Fe₃C 相图:

(1) 画出 Fe-Fe₃C 相图, 并用组织组成物填写相图。

(2) 依据此相图分析 $w_C = 1.2\%$ 的铁碳合金自液相至室温的平衡转变过程, 并画出此成分合金室温下的组织示意图。

(3) 计算 $w_C = 0.6\%$ 铁碳合金室温时相组成物的质量分数及组织组成物的质量分数。

3. (10分) 三元相图:

(1) 图 42-4 为某三元系相图的液相面投影图, 写出此三元系发生的四相平衡反应的名称及反应式。

(2) 图 42-5 为三元系相图的某温度下的水平截面图。请在改动量最少的前提下改正图中的错误之处, 并附以简单说明。

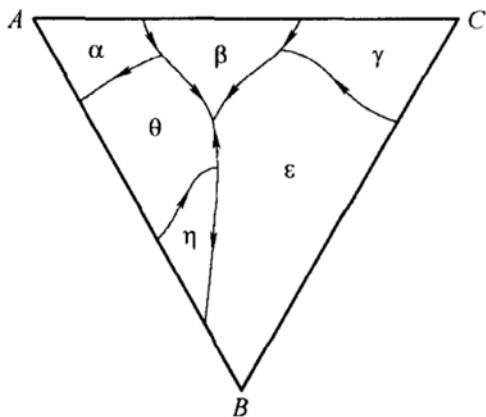


图 42-4 第四题第 3 小题第 (1) 题图

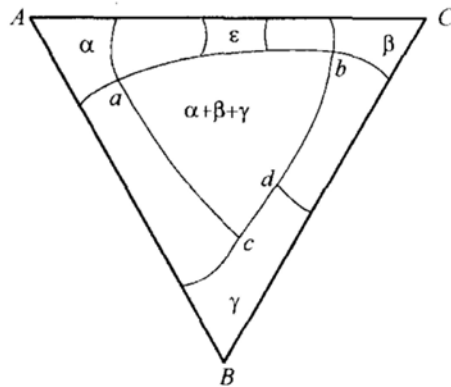


图 42-5 第四题第 3 小题第 (2) 题图

五、(20分) 位错

1. 自发的位错反应必须满足哪些条件?

2. 何谓扩展位错? 请写一例。

3. 有一方框形位错 (如图 42-6) 处于滑移面 π 上

- (1) 判断各段 (AB 、 BC 、 CD 、 DA) 位错的类型。
- (2) 在晶体表面施加一切应力 (方向如图所示), 判断各段位错的运动方向。
- (3) 若在晶体表面施加一正应力 (如图), 判断各段位错的运动情况。

六、(10分) 晶体结构

1. 在立方晶系的一个晶胞内画出 ($1\bar{1}0$) 和 (112) 晶面, 并写出两晶面交线的晶向指数 (交线的方向自定)。

2. 试在晶胞内画出 FCC 结构的一个滑移系, 并回答在此滑移系上施加什么方向的应力此滑移系不能开动 (在图上标出此应力的方向)。

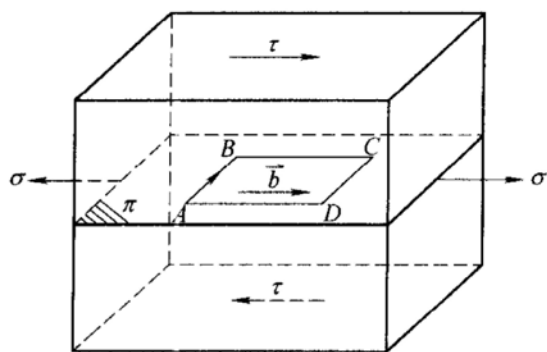


图 42-6 第五题第 3 小题图

标准答案

一、

- (1) 单位位错——柏氏矢量等于点阵矢量的位错。
- (2) 晶胞——构成晶格的最基本单元。
- (3) 固溶体——以合金中某一组元作为溶剂, 其他组元为溶质, 所形成的与溶剂有相同晶体结构、晶格常数稍有变化的固相。
- (4) 临界晶核——其长大能使体系吉布斯自由能下降的尺寸最小的晶核。
- (5) 临界变形度——给定温度下金属发生再结晶所需的最小预先冷变形量。

二、

1.

(1) B 。

(2) A 。

(3) 见图 42-7。

2. CaO : 离子键; SiC : 共价键;
 GaAs : 共价键; Cu_3Al : 金属键。

3. MgO : 6; Cr_2O_3 : 6; CaF_2 : 8;
 K_2O : 12。

4. 铸模: 金属模; 模子温度: 不预热; 浇注温度: 提高。

5. (1) 不正确; (2) 不正确; (3) 不正确; (4) 正确; (5) 不正确; (6) 不正确。

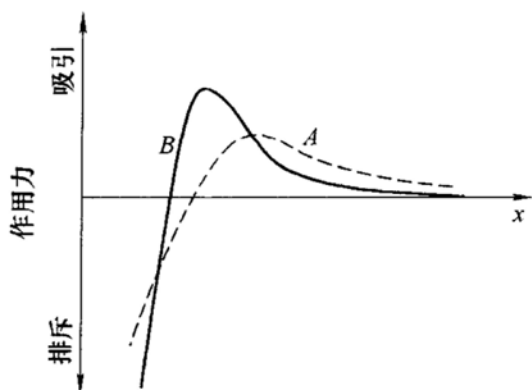


图 42-7 第二题第 1 小题第 (3) 题解答图

三、

1. 固体中原子的扩散必须存在化学位梯度。

2.

(1) ① 按扩散组元的浓度分布, 扩散分为自扩散和互扩散; ② 按原子扩散的路径, 扩散分为体扩散、晶界扩散、位错扩散、表面扩散; ③ 按扩散的微观机制, 扩散分为间隙扩散和空位扩散; ④ 按组元扩散方向与其浓度梯度方向的关系, 扩散分为下坡扩散和上坡扩散; ⑤ 按扩散中是否有新相形成, 扩散分为单相扩散和反应扩散。

(2) 在间隙固溶体中溶质原子以间隙机制进行扩散, 在置换固溶体中溶质原子以空位机制进行扩散。

(3) 均匀奥氏体晶粒的长大属于自扩散, 而扩散退火时晶内偏析的均匀化属于互扩散。

3.

(1) 见图 42-8。

(2) 边界条件: $\left\{ \begin{array}{l} x=0, C(x, t) = a = C_{\beta} \\ x=\infty, C(x, t) = a+b=0 \end{array} \right\}$

则 $a = C_{\beta}, \quad b = -C_{\beta}$

4. 玻璃化温度较低的热塑性塑料变形后也会出现“加工硬化”现象, 这是由于随变形程度的增加, 分子链逐渐沿外力方向定向排列, 从而引起应变硬化。陶瓷材料变形后不会出现“加工硬化”现象, 这是由于陶瓷材料不能发生塑性变形。

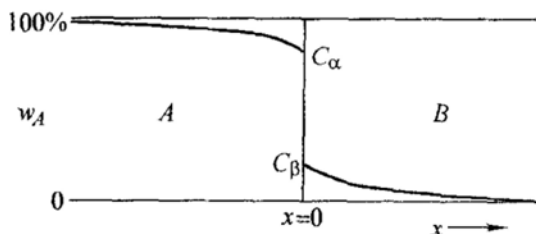


图 42-8 第三题第 3 小题第 (1) 题解答图

5. 本征半导体中参与导电的载流子是导带中的电子和等量的价带中的空穴, 且费米能级位于禁带中央。而掺杂半导体中参与导电的载流子是导带中的电子和不等量的价带中的空穴, 且费米能级不位于禁带中央, 或向上方移动 (如 n 型半导体), 或向下方移动 (如 p 型半导体)。

6. 电子磁矩是指电子绕核运动的轨道磁矩和电子自旋产生的自旋磁矩。原子磁矩是指电子的轨道磁矩和自旋磁矩合成的总磁矩; 物质固有磁矩是指无外磁场作用时所有原子磁矩之和。原子中的电子壳层全部填满的物质为抗磁体; 原子中有未填满的电子壳层的物质为顺磁体或铁磁体。

7. 金属材料主要靠自由电子导热; 陶瓷材料主要靠声子导热; 高分子材料主要靠分子导热。

四、

1. 共晶反应: $L \rightleftharpoons \alpha + \beta$ 共析反应: $\gamma \rightleftharpoons \alpha + \beta$ 偏晶反应: $L_1 \rightleftharpoons L_2 + \delta$ 熔晶反应: $\delta \rightleftharpoons L + \gamma$ 包晶反应: $L + \alpha \rightleftharpoons \beta$ 包析反应: $\gamma + \alpha \rightleftharpoons \beta$ 合晶反应: $L_1 + L_2 \rightleftharpoons \delta$

2.

(1) 略。

(2) 结晶过程: 在熔点以上, 是液相的简单冷却。温度降至略低于合金熔点时, 开始发生匀晶转变, 从液相中结晶出 γ 相, 温度降至 JE 温度时, 全部转变为 γ 相。在 JE 温度与 SE 温度之间, 是 γ 相的简单冷却。稍低于 SE 温度, 开始发生二次析出转变, 在 γ 相的晶界处析出二次渗碳体 Fe_3C_{II} 。温度降至 A_1 温度时, 恒温下发生共析转变, 剩余 γ 相转变为珠光体 P 。温度继续下降, 基本不变。室温下的相组成物是 $\alpha + Fe_3C$, 组织组成物是 $P + Fe_3C_{II}$ 。

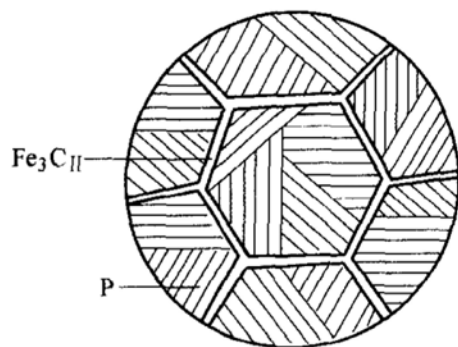


图 42-9 第四题第 2 小题
第 (2) 题解答图

组织示意图见图 42-9。

(3) 相组成物的质量分数:

$$w_{\alpha} = \frac{6.69 - 0.6}{6.69 - 0.0008} \times 100\% \approx 91.04\% \quad w_{Fe_3C} = 1 - w_{\alpha} \approx 8.96\%$$

组织组成物的质量分数:

$$w_F = \frac{0.77 - 0.6}{0.77 - 0.0218} \times 100\% \approx 22.72\% \quad w_P = 1 - w_F \approx 77.28\%$$

3.

(1) 共晶反应: $L \rightleftharpoons \beta + \theta + \epsilon$ 包晶反应: $L + \eta + \theta \rightleftharpoons \epsilon$ 包晶反应: $L + \alpha + \beta \rightleftharpoons \theta$ 包共晶反应: $L + \gamma \rightleftharpoons \beta + \epsilon$

(2) 经改正的相图见图 42-10。图中 ab 、 bc 、 ca 线皆应为直线, 因为三相平衡区在水平截面图中应为直边三角形; d 点应与 c 点重合, 不应当存在 ϵ 相区, 因为水平截面图中的三相区仅在其三个顶点处与三个单相区点接触。

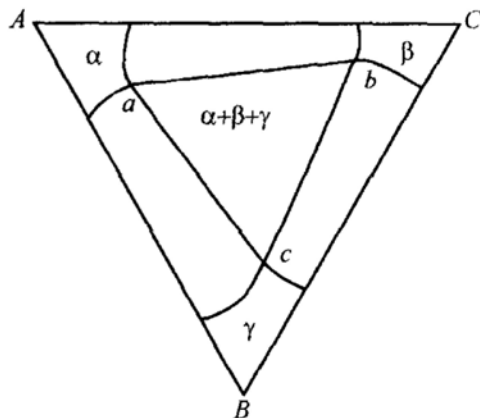


图 42-10 第四题第 3 小题
第 (2) 题解答图

五、

1. 几何条件和能量条件。

2. 两个不全位错及夹在它们之间的一片层错所组成的位错组态。如面心立

方晶体中的 $\frac{a}{6} [\bar{1}2\bar{1}] + \text{层错} + \frac{a}{6} [\bar{2}11]$ 。

3.

(1) AB 段：负刃型位错； BC 段：右螺型位错； CD 段：正刃型位错； DA 段：左螺型位错。

(2) 垂直于位错线向位错环外方向滑移运动。

(3) AB 段：垂直于位错线向上攀移运动； BC 段：不动； CD 段：垂直于位错线向下攀移运动； DA 段：不动。

六、

1. 见图 42-11。

2. 见图 42-12。

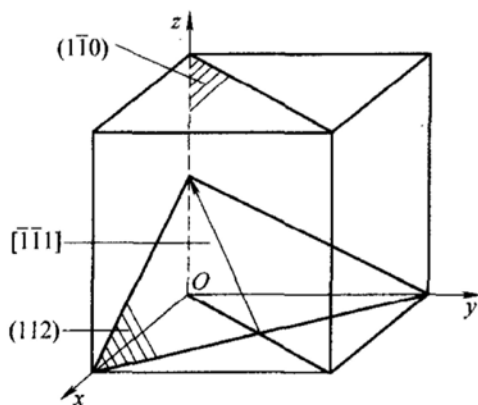


图 42-11 第六题第 1 小题解答图

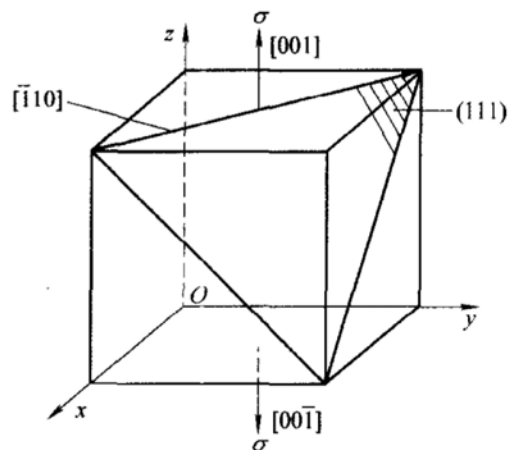


图 42-12 第六题第 2 小题解答图

试卷四十三

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：材料科学与工程

说明：第一题必做，其余六题中任选五题，多做以得分较低者计
分。

一、(50 分) 填空

1. 材料的结合键决定其弹性模量的高低。氧化物陶瓷材料以 (1) 键为主，结合键 (2) 故其弹性模量 (3)；金属材料以 (4) 键为主，结合键 (5) 故其弹性模量 (6)；高分子材料的分子链上是 (7) 键，分子链之间是 (8) 键，故其弹性模量 (9)。

2. 面心立方晶体的最密排面是 (10)，最密排方向是 (11)；体心立方晶体的最密排面是 (12)，最密排方向是 (13)；密排六方晶体的最密排面是 (14)，最密排方向是 (15)。

3. 晶粒较细的金属比晶粒较粗的同种金属有 (16) 的强度和硬度及 (17) 塑性和韧性，这种现象称为 (18) 强化；铸造工艺中细化晶粒的常用方法是 (19)、(20) 和 (21)。

4. 铁碳合金中可能存在的渗碳体有五种，按照形成温度由高到低，依次是：(22) 渗碳体、(23) 渗碳体、(24) 渗碳体、(25) 渗碳体和 (26) 渗碳体。

5. 铁素体是碳是在 (27) - Fe 中的 (28) 固溶体，与纯铁相比，其强度和硬度 (29)，塑性和韧性 (30)，这是由于 (31) 强化的结果。

6. 对于刃型位错线，其柏氏矢量 (32) 于位错线，其滑移运动方向 (33) 于柏氏矢量，其攀移运动方向 (34) 于柏氏矢量；对于螺型位错线，其柏氏矢量 (35) 于位错线，其滑移运动方向 (36) 于柏氏矢量，其交滑移运动方向 (37) 于柏氏矢量；对于混合型位错线，其柏氏矢量 (38) 于位错线，其滑移运动方向 (39) 于位错线。

7. 金属经冷塑性变形后，其强度和硬度 (40)，塑性和韧性 (41)，这种现象称为 (42) 强化或 (43)；对于经过预先冷塑性变形的金属，在进一步冷塑性变形前应进行 (44) 退火，以提高其 (45)，退火温度为 (46)；而对于冷

图 43-2 第三题图

3. (12分) 分析含 Fe 质量分数 $w_{\text{Fe}} = 28\%$ 的合金的平衡结晶过程; 写出该合金在 400°C 时的相组成物及组织组成物, 并计算它们的质量分数。

四、(20分) $A-B$ 二元合金相图如图 43-3 所示。在固相不扩散、液相完全混合条件下, 水平放置的质量分数 $w_B = 40\%$ 的 $A-B$ 二元合金熔液从左至右定向凝固成长为 L 的横截面均匀的合金棒。

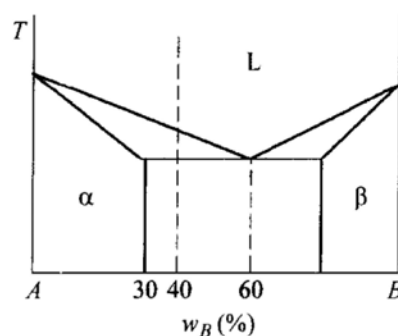


图 43-3 第四题图

1. (10分) 计算棒中单相 α 固溶体段占棒长的分数。提示: 正常凝固方程为

$$C_S(z) = k_0 C_0 \left(1 - \frac{z}{L}\right)^{k_0 - 1}$$

2. (5分) 计算棒中单相 α 固溶体段的平均 B 含量 \bar{w}_B 。

3. (5分) 该棒单相 α 固溶体段是否会生长成树枝晶? 为什么?

五、(20分)

1. (10分) $\text{Cu}-\text{Cd}-\text{Ag}$ 三元合金液相面投影图如图 43-4 所示。写出图中 O 点合金的成分, 并估计它的熔点; 分别写出图中 a 、 b 、 c 点成分的液相所参与的

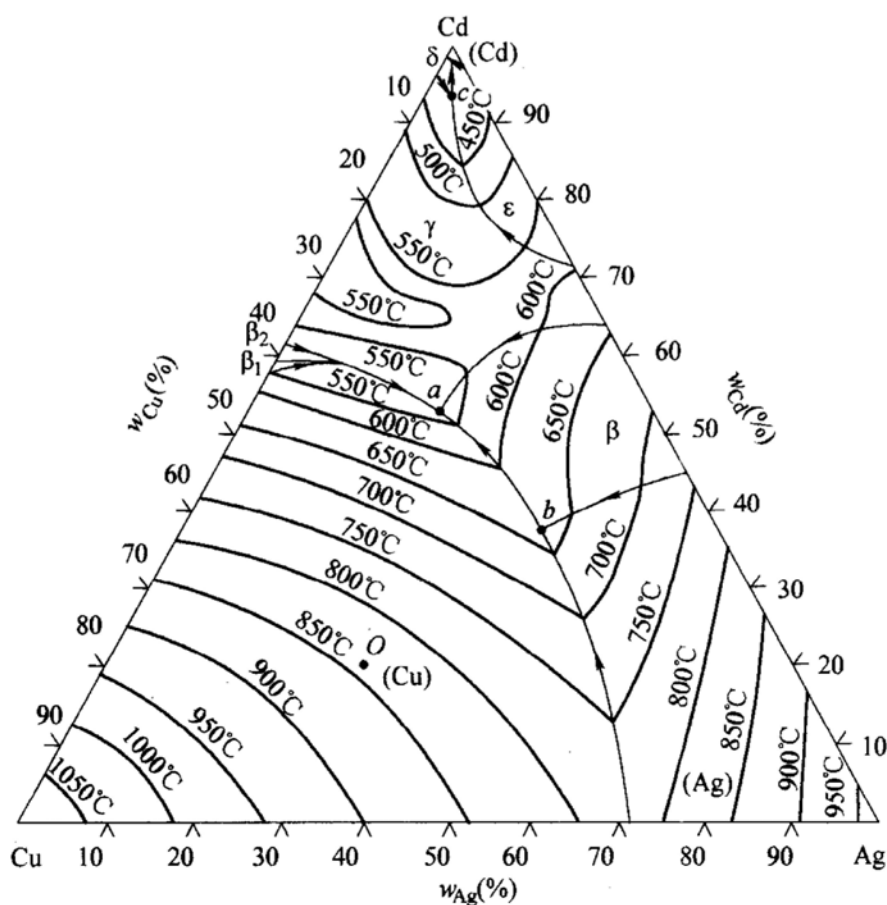


图 43-4 第五题第 1 小题图

四相恒温反应的名称及反应式；写出该三元系中铸造性能最好的合金的成分及熔点。

2. (10 分) Cd-Ag-Zn 三元合金相图的 400℃ 等温截面图如图 43-5 所示。写出图中 F 点和 G 点成分的合金的平衡相，并计算相组成物的质量分数（用字母列式表示）。

六、(20 分) 第二相粒子对合金塑性形变会产生何种影响？试用位错理论说明其机理。

七、(20 分) 示意画出 n 型半导体电导率随温度的变化曲线，并用能带理论解释之。

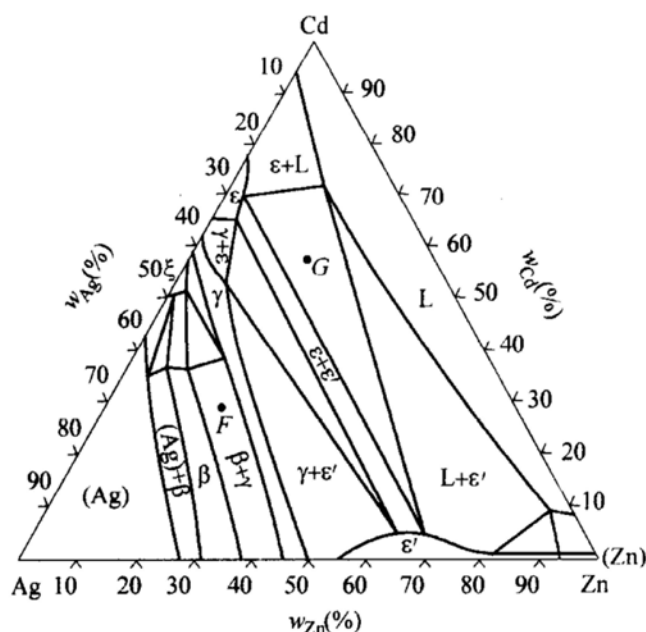


图 43-5 第五题第 2 小题图

标准答案

一、(1) 离子；(2) 较强；(3) 较高；(4) 金属；(5) 较弱；(6) 较低；(7) 共价；(8) 分子；(9) 最低；(10) $\{111\}$ ；(11) $\langle \bar{1}10 \rangle$ ；(12) $\{110\}$ ；(13) $\langle \bar{1}11 \rangle$ ；(14) (0001)；(15) $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ ；(16) 更高；(17) 更好；(18) 细晶；(19) 增大冷却速度；(20) 加形核剂；(21) 搅拌或振动；(22) 一次；(23) 共晶；(24) 二次；(25) 共析；(26) 三次；(27) α ；(28) 间隙；(29) 更高；(30) 更低；(31) 固溶；(32) 垂直；(33) 平行；(34) 垂直；(35) 平行；(36) 垂直；(37) 垂直；(38) 既不垂直也不平行；(39) 垂直；(40) 升高；(41) 下降；(42) 形变；(43) 加工硬化；(44) 再结晶；(45) 塑性和韧性；(46)

0.4 T_m ; (47) 去应力; (48) 残余内应力; (49) 变形; (50) 开裂。

二、

1. 见图 43-6。

2. $ABCD$: $(10\bar{1}1)$; \overline{AB} : $[11\bar{2}3]$;

\overline{BC} : $[\bar{1}2\bar{1}0]$; \overline{CD} : $[2113]$ 。

3. $(111)[10\bar{1}]$, $(111)[1\bar{1}0]$, $(111)[0\bar{1}1]$, $(\bar{1}11)[101]$, $(\bar{1}11)[110]$, $(\bar{1}11)[01\bar{1}]$, $(1\bar{1}1)[10\bar{1}]$, $(1\bar{1}1)[110]$, $(1\bar{1}1)[011]$, $(11\bar{1})[101]$, $(11\bar{1})[1\bar{1}0]$, $(11\bar{1})[011]$ 。

三、

1. 见图 43-7。

2. 595℃: 共析反应, $(\beta\text{Ti}) \rightleftharpoons (\alpha\text{Ti}) + \text{TiFe}$; 1085℃: 共晶反应, $L \rightleftharpoons (\beta\text{Ti}) + \text{TiFe}$; 1289℃: 共晶反应, $L \rightleftharpoons (\alpha\text{Fe}) + \text{TiFe}_2$; 1317℃: 包晶反应, $L + \text{TiFe}_2 \rightleftharpoons \text{TiFe}$ 。

3. 结晶过程: T_1 温度以上是液相的简单冷却。温度降至略低于 T_1 温度时, 开始发生匀晶转变, 从液相中结晶出 $(\beta\text{Ti})_{\text{初}}$ 。温度降至 1085℃ 时, 剩余液相在恒温下发生共晶转变, 全部转变为 $((\beta\text{Ti}) + \text{TiFe})_{\text{共晶}}$ 。在 1085℃ 以下降温时, 从 $(\beta\text{Ti})_{\text{初}}$ 二次析出 TiFe_{II} , 而共晶体中的 (βTi) 二次析出的 TiFe_{II} 仍属于共晶体的组成部分。温度降至 595℃, 剩余的 $(\beta\text{Ti})_{\text{初}}$ 在恒温下发生共析转变, 生成 $((\alpha\text{Ti}) + \text{TiFe})_{\text{共析}}$, 而共晶体中的 (βTi) 也发生相同转变, 但转变产物仍属于共晶体的组成部分。温度继续下降, 基本不变。

400℃ 下的相组成物是 $((\alpha\text{Ti}) + \text{TiFe})$, 组织组成物是 $((\alpha\text{Ti}) + \text{TiFe})_{\text{共析}} + \text{TiFe}_{\text{II}} + ((\alpha\text{Ti}) + \text{TiFe})_{\text{共晶}}$ 。

相组成物的质量百分数:

$$w_{(\alpha\text{Ti})} \approx \frac{53 - 28}{53 - 0} \times 100\% = 47.2\% \quad w_{\text{TiFe}} = 1 - w_{\alpha\text{Ti}} = 52.8\%$$

组织组成物的质量百分数:

$$w_{((\alpha\text{Ti}) + \text{TiFe})_{\text{共晶}}} \approx \frac{28 - 24.7}{32 - 24.7} \times 100\% = 45.2\%$$

$$w_{\text{TiFe}_{\text{II}}} \approx \frac{32 - 28}{32 - 24.7} \times \frac{24.7 - 17}{52.5 - 17} \times 100\% = 11.9\%$$

$$w_{((\alpha\text{Ti}) + \text{TiFe})_{\text{共析}}} = 1 - w_{((\alpha\text{Ti}) + \text{TiFe})_{\text{共晶}}} - w_{\text{TiFe}_{\text{II}}} = 42.9\%$$

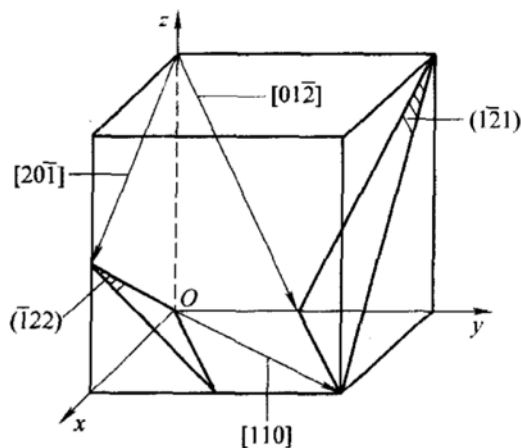


图 43-6 第二题第 1 小题解答图

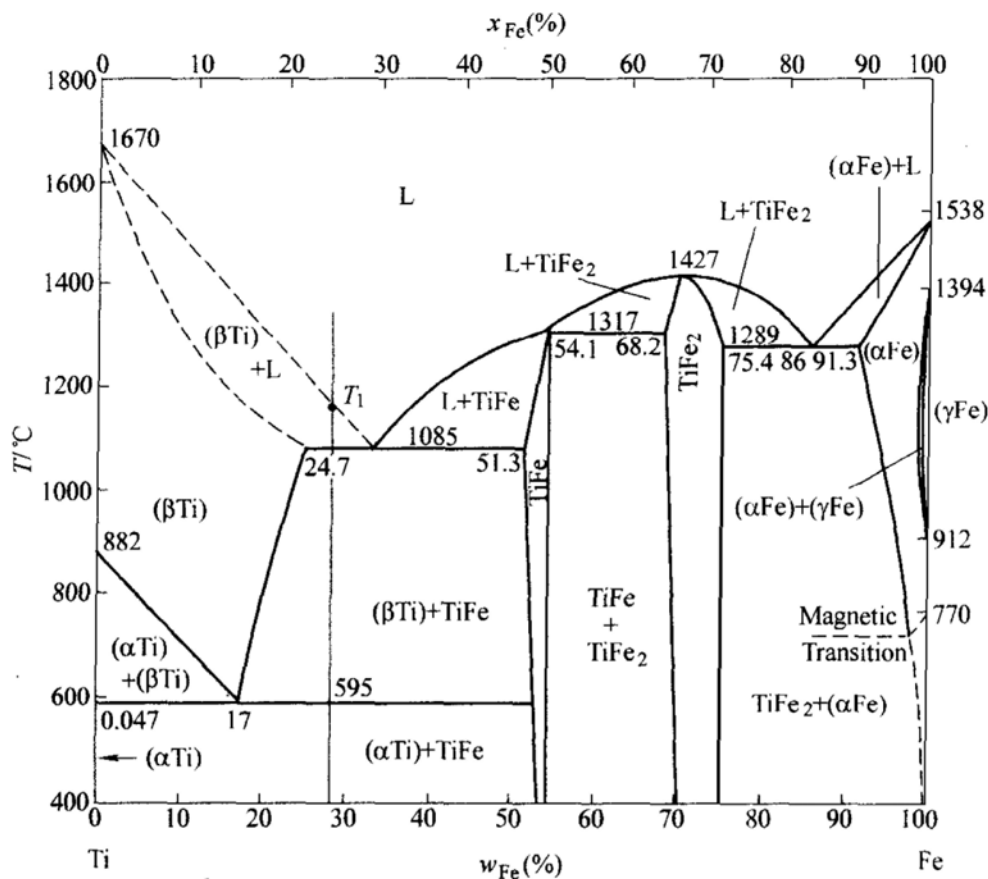


图 43-7 第三题解答图

四、

1. 设棒中单相 α 固溶体段占棒长的分数为 z/L 。在正常凝固方程 $C_S(z) = k_0 C_0 \left(1 - \frac{z}{L}\right)^{k_0 - 1}$ 中, $k_0 = 30\%/60\% = 0.5$, $C_S = 30\%$, $C_0 = 40\%$, 则

$$\frac{z}{L} = 1 - \left(\frac{C_S}{C_0 k_0}\right)^{\frac{1}{k_0 - 1}} = 1 - \left(\frac{30}{40 \times 0.5}\right)^{\frac{1}{0.5 - 1}} = \frac{5}{9}$$

2. 设棒中单相 α 固溶体段的平均 B 原子浓度为 \bar{w}_B , 可有四种解法。

解法一 (积分法):

$$\bar{w}_B = \frac{1}{\frac{5}{9}L} \int_0^{\frac{5}{9}L} C_0 k_0 \left(1 - \frac{z}{L}\right)^{k_0 - 1} dz = \frac{1}{\frac{5}{9}L} \int_0^{\frac{5}{9}L} 40\% \times 0.5 \left(1 - \frac{z}{L}\right)^{0.5 - 1} dz = 24\%$$

解法二 (面积相等法):

由于平衡分配系数 $k_0 < 1$, 液体结晶为 α 固溶体时, 其 B 原子浓度下降, 所排出的 B 原子完全进入液体中并分布均匀, 因此, 图 43-8 中阴影区 1 与阴影区 2 的面积相等, 则

$$(40\% - \overline{w_B}) \times \frac{5}{9} L = (60\% - 40\%) \times \frac{4}{9} L$$

得

$$\overline{w_B} = 24\%$$

解法三 (杠杆原理法):

根据杠杆原理, α 固溶体的平均成分 $\overline{w_B}$ 、 $(\alpha+\beta)$ 共晶体的平均成分 60%, 以及棒的平均成分 40% 三点构成一个杠杆, 而且已知 α 固溶体段占棒长的 $\frac{5}{9}$, 共晶体段占棒长的 $\frac{4}{9}$, 故根据杠杆定理可列方程式

$$\frac{60\% - 40\%}{60\% - \overline{w_B}} = \frac{5}{9}$$

得

$$\overline{w_B} = 24\%$$

解法四 (质量守恒法):

根据溶质原子质量守恒原理, 可列方程式

$$\frac{5}{9} \overline{w_B} + \left(1 - \frac{5}{9}\right) \times 60\% = 40\%$$

得

$$\overline{w_B} = \frac{9}{5} \left[40\% - \left(1 - \frac{5}{9}\right) \times 60\% \right] = 24\%$$

3. 不会, 因为在液相完全混合条件下, 不出现成分过冷, 故液/固界面平直。

五、

1. O 合金的成分: 50% Cu - 20% Cd - 30% Ag。

O 合金的熔点: $\approx 840^\circ\text{C}$;

a 点: 四相共晶反应, $L \rightleftharpoons (\text{Cu}) + \beta + \gamma$ 。

b 点: 包共晶反应, $L + (\text{Ag}) \rightleftharpoons (\text{Cu}) + \beta$ 。

c 点: 包共晶反应, $L + \gamma \rightleftharpoons \epsilon + \delta$ 。

铸造性能最好的合金为 a 点, 其成分为: $w_{\text{Cd}} \approx 53\%$, $w_{\text{Cu}} \approx 25\%$, $w_{\text{Ag}} \approx 22\%$, 其熔点为: $\approx 530^\circ\text{C}$ 。

2. 如图 43-9 所示。

F 点: $\beta + \gamma$, 其中

$$w_\beta = \frac{bF}{ab} \times 100\% \quad w_\gamma = \frac{aF}{ab} \times 100\%$$

G 点: $L + \epsilon + \epsilon'$, 其中

$$w_L = \frac{dG}{cd} \times 100\% \quad w_\epsilon = \frac{df}{ef} \times \frac{cG}{cd} \times 100\% \quad w_{\epsilon'} = \frac{ed}{ef} \times \frac{cG}{cd} \times 100\%$$

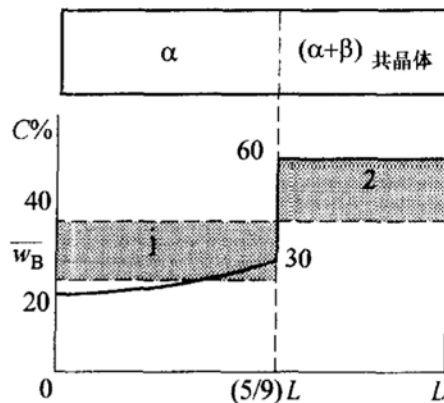


图 43-8 第四题解答图

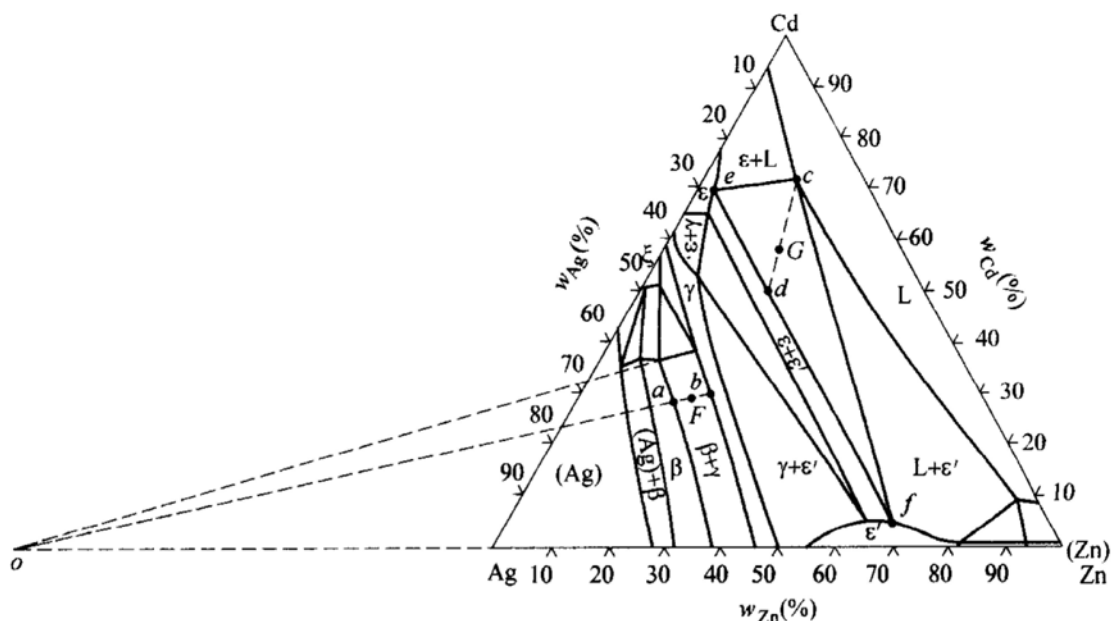


图 43-9 第五题第 2 小题解答图

六、要点：会提高合金的强度及塑性形变时的流变抗力。因为，位错切过可变形第二相粒子或绕过不可变形第二相粒子时阻力增大。

七、n 型半导体电导率随温度的变化曲线如图 43-10 所示。n 型半导体中的载流子包括掺杂的施主电子及本征半导体固有的电子和空穴，但施主电子跃迁所需克服的能垒 E_d 小于本征电子和空穴跃迁所需克服的能垒 $E_g/2$ 。温度较低时，本征电子和空穴的热激活跃迁几率很小，而施主电子跃迁几率较大且随温度升高而呈指数增大，此时电导率主要由掺杂的施主电子提供。当施主电子全部跃迁或称耗竭，而本征电子和空穴的热激活跃迁几率仍然很小，载流子浓度几乎不随温度升高而变化，电导率几乎为常数。温度进一步升高，本征电子和空穴的热激活跃迁几率明显呈指数增大，电导率也随之呈指数增大。

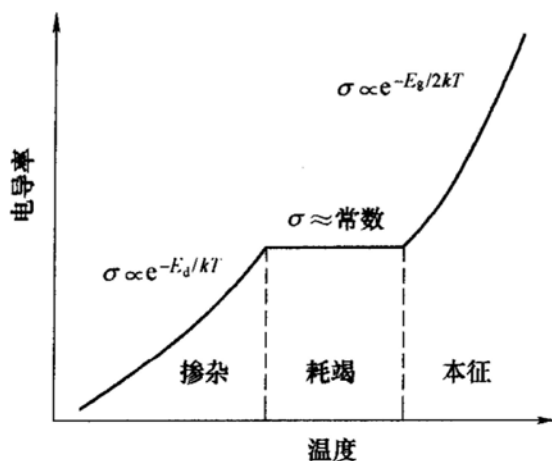


图 43-10 第七题解答图

试卷四十四

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：材料科学与工程

一、(15 分)

1. 已知密排六方晶体的孪生面为 $\{10\bar{1}2\}$ ，孪生方向为 $\langle\bar{1}011\rangle$ ，在六方晶胞中画出其中的任意一个孪生系统。

2. 若在面心立方单晶体的 $[32\bar{1}]$ 方向施加拉伸应力。则：

(1) 写出晶体的始滑移系统，并表示在立方晶胞中；

(2) 写出晶体的交滑移系统，以及晶体的双滑移系统。

二、(25 分) 三元合金的四相平衡平面如图 44-1 所示。

1. 写出该四相反应的名称及反应式。

2. 写出 o 合金在稍高于四相平衡平面时的相组成物，并计算各相组成物的相对量。

3. 写出 o 合金在稍低于四相平衡平面时的相组成物，并计算各相组成物的相对量。

4. 合金 o 在四相反应中生成什么相？
计算所生成相在合金中的相对量。

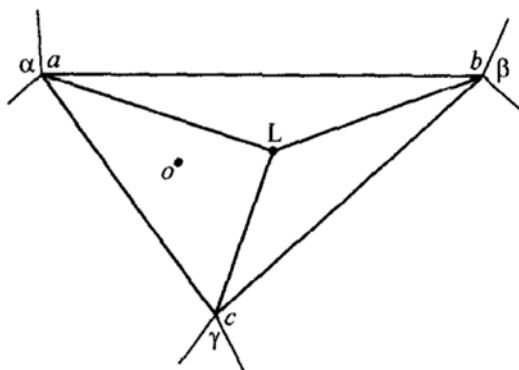


图 44-1 第二题图

三、(25 分) 假设某纯金属液体按均匀形核方式结晶，晶胚呈边长为 a 的立方体，晶胚的单位面积表面能为 σ ，液、固两相单位体积的吉布斯自由能差为 ΔG_v 。

1. 求临界晶核边长 a^* 的表达式。

2. 求临界晶核形成功 ΔG^* 的表达式。

3. 证明关系式 $\Delta G^* = \frac{1}{3} A^* \sigma$ ，其中 A^* 为临界晶核的表面积。

四、(20 分) 何谓成分过冷？用成分过冷理论解释合金的铸造性能（流动性、缩孔的分布特征）与其相图中液/固相线间垂直距离的关系。

五、(30 分) Co-Sb 平衡相图如图 44-2 所示。

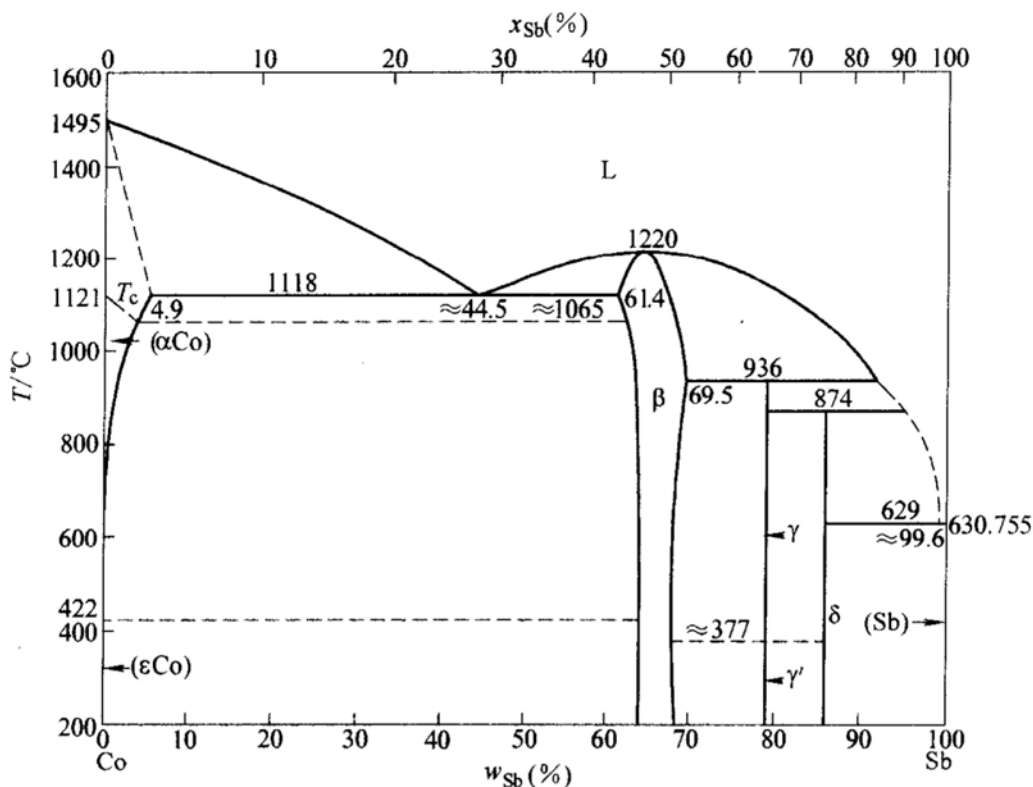


图 44-2 第五题图

1. 写出图中 1118°C、 $\approx 1065^\circ\text{C}$ 、936°C、874°C、629°C、422°C、 $\approx 377^\circ\text{C}$ 水平线的名称。
2. 写出图中固态单相的相结构类型，并写出其中化合物的化学式。
3. 写出 $w_{\text{Sb}} = 90\%$ 的合金在 200°C 时的平衡相，并计算相组成物的相对量。
4. 写出 $w_{\text{Sb}} = 90\%$ 的合金在 200°C 时的平衡组织，并计算组织组成物的相对量。

六、(20 分)

1. 结合 σ - ϵ 曲线，说明退火态低碳钢的屈服现象和应变时效现象。
2. 用位错理论解释上述现象。

七、(15 分) 何谓本征半导体？何谓掺杂半导体？二者的载流子及费米能级有何不同？

标准答案

一、

1. 如图 44-3 所示。
- 2.

(1) $(111) [\bar{1}0\bar{1}]$, 如图 44-4 所示。

(2) 交滑移系: $(1\bar{1}1) [\bar{1}0\bar{1}]$;

双滑移系: $(111) [\bar{1}0\bar{1}]$ 和 $(1\bar{1}\bar{1}) [\bar{1}10]$ 。

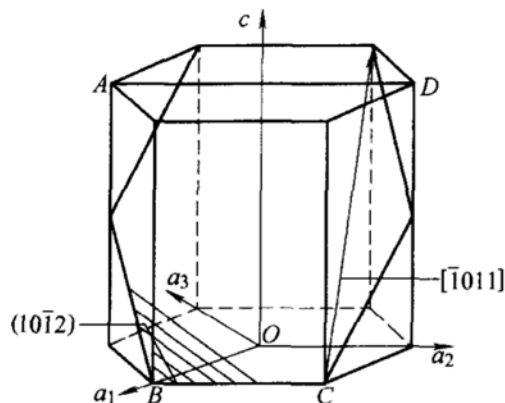


图 44-3 第一题第 1 小题解答图

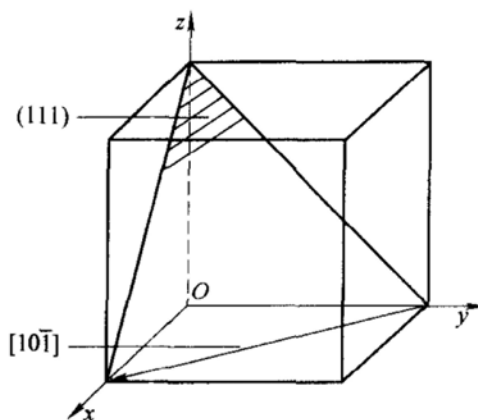


图 44-4 第一题第 2 小题解答图

二、如图 44-5 所示。

1. 四相共晶反应, $L \rightleftharpoons \alpha + \beta + \gamma$ 。

2. 相组成物: $\gamma + L + \alpha$, 其中

$$w'_\gamma = \frac{\overline{od}}{\overline{cd}} \times 100\% \quad w'_L = \frac{\overline{ad}}{\overline{aL}} \times \frac{\overline{oc}}{\overline{cd}} \times 100\% \quad w'_\alpha = \frac{\overline{dL}}{\overline{aL}} \times \frac{\overline{oc}}{\overline{cd}} \times 100\%$$

3. 相组成物: $\gamma + \alpha + \beta$, 其中

$$w''_\gamma = \frac{\overline{oe}}{\overline{ce}} \times 100\% \quad w''_\alpha = \frac{\overline{eb}}{\overline{ab}} \times \frac{\overline{oc}}{\overline{ce}} \times 100\%$$

$$w''_\beta = \frac{\overline{ae}}{\overline{ab}} \times \frac{\overline{oc}}{\overline{ce}} \times 100\%$$

4. 四相反应中的生成相: $\alpha + \beta + \gamma$, 其中,

$$w'''_\alpha = w''_\alpha - w'_\alpha = \left(\frac{\overline{eb}}{\overline{ab}} \times \frac{\overline{oc}}{\overline{ce}} - \frac{\overline{dL}}{\overline{aL}} \times \frac{\overline{oc}}{\overline{cd}} \right) \times 100\%$$

$$w'''_\beta = w''_\beta = \frac{\overline{ae}}{\overline{ab}} \times \frac{\overline{oc}}{\overline{ce}} \times 100\%$$

$$w'''_\gamma = w''_\gamma - w'_\gamma = \left(\frac{\overline{oe}}{\overline{ce}} - \frac{\overline{od}}{\overline{cd}} \right) \times 100\%$$

三、

1. 形核时的自由能变化为

$$\Delta G = V\Delta G_V + A\sigma = a^3\Delta G_V + 6a^2\sigma$$

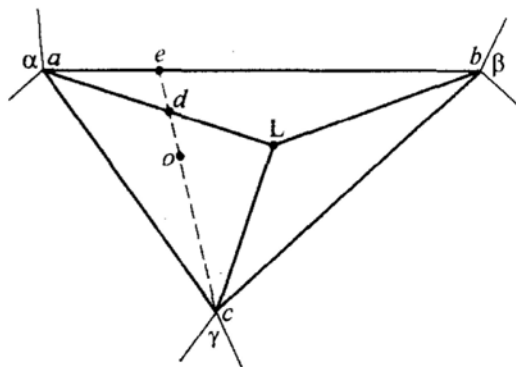


图 44-5 第二题解答图

$$\text{令} \quad \frac{d(\Delta G)}{da} = 0$$

$$\text{得临界晶核边长} \quad a^* = -\frac{4\sigma}{\Delta G_V}$$

$$\begin{aligned} 2. \Delta G^* &= V^* \Delta G_V + A^* \sigma = \left(-\frac{4\sigma}{\Delta G_V}\right)^3 \Delta G_V + 6\left(-\frac{4\sigma}{\Delta G_V}\right)^2 \sigma \\ &= -\frac{64\sigma^3}{(\Delta G_V)^2} + \frac{96\sigma^3}{(\Delta G_V)^2} = \frac{32\sigma^3}{(\Delta G_V)^2} \end{aligned}$$

$$3. \text{由上式可见} \quad A^* \sigma = 3\Delta G^*$$

$$\text{故} \quad \Delta G^* = \frac{1}{3} A^* \sigma$$

四、在合金的凝固过程中，虽然实际温度分布一定，但由于液体中溶质分布发生变化，使液/固界面前沿的液体处于过冷状态，这种由液体成分变化与实际温度分布两个因素共同决定的过冷，称为成分过冷。合金的铸造性能（流动性、缩孔的分布特征）与其相图中液/固相线间垂直距离的大小有关。垂直距离越大，则合金的流动性越差，缩孔越易呈分散分布。成分过冷的条件为： $\frac{G}{R} <$

$\frac{-mC_0(1-k_0)}{Dk_0}$ ，其中， G 为液/固界面前沿液体中的实际温度梯度， R 为液/固界面推移的速度， D 为溶质原子在液相中的扩散系数， m 为合金相图中液相线的斜率， C_0 为合金的成分， k_0 为合金的平衡分配系数。可以证明，上式中的 $\frac{-mC_0(1-k_0)}{k_0}$ 就是 C_0 合金在其相图中液/固相线间的垂直距离。显然，液/固

相线间的垂直距离越大，合金的成分过冷倾向就越大，液/固界面越倾向于树枝状生长，这阻碍了合金熔液的流动性，也使树枝状晶的枝间处因得不到补缩而形成分散缩孔。

五、

1. 1118℃：共晶反应线。

≈1065℃：磁性转变线。

936℃：包晶反应线。

874℃：包晶反应线。

629℃：共晶反应线。

422℃：同素异构（多晶型）转变线。

≈377℃：有序-无序转变线。

2. (εCo)、(αCo)、(Sb) 皆为置换固溶体。

β : CoSb_2 。

γ 和 γ' : CoSb_2 。

δ : CoSb_3 。

3. 平衡相: $\delta + (\text{Sb})$, 其中,

$$w_{\delta} \approx \frac{100 - 90}{100 - 86} \times 100\% \approx 71.4\% \quad w_{(\text{Sb})} \approx 28.6\%$$

4. 平衡组织: $\delta_{\text{先}} + (\delta + (\text{Sb}))_{\text{共晶}}$, 其中

$$w_{\delta_{\text{先}}} \approx \frac{99.6 - 90}{99.6 - 86} \times 100\% \approx 70.6\% \quad w_{(\delta + (\text{Sb}))_{\text{共晶}}} \approx 29.4\%$$

六、

1. 要点: 退火态低碳钢的屈服现象表现为, 在 $\sigma-\epsilon$ 曲线上出现上、下屈服点和屈服平台; 应变时效现象表现为, 拉伸塑性伸长卸载后, 若立即拉伸, $\sigma-\epsilon$ 曲线上不出现上、下屈服点和屈服平台, 若卸载后在 200°C 左右退火后再拉伸, 则 $\sigma-\epsilon$ 曲线上又出现上、下屈服点和屈服平台, 且屈服应力有所提高。

2. 要点: 退火态低碳钢中的固溶碳原子形成柯氏气团, 对位错起“钉扎”作用。当位错受力增大而“脱钉”时, 外力突然减小, 形成上、下屈服点和屈服平台。拉伸塑性伸长卸载后, 位错已经“脱钉”, 立即拉伸时, 不会形成上、下屈服点和屈服平台。若卸载后退火, “脱钉”的位错重新被“钉扎”, 再拉伸时又会形成上、下屈服点和屈服平台, 且由于此时位错密度增加, 故屈服应力有所提高。

七、高纯度的不掺有杂质的半导体称本征半导体。在本征半导体中有意加入少量的杂质元素形成的半导体称掺杂半导体, 掺杂元素是周期表中 V A 族的为 n 型半导体, 掺杂元素是周期表中 III A 族的为 p 型半导体。本征半导体的载流子是导带中的电子和价带中的空穴, 且电子数与空穴数相等。掺杂半导体的载流子虽然也是导带中的电子和价带中的空穴, 但电子数与空穴数却不相等, n 型半导体中的电子数多于空穴数, p 型半导体中的空穴数多于电子数。本征半导体的费米能级位于禁带的中央, 而掺杂半导体的费米能级却不位于禁带的中央, n 型半导体的费米能级相对于禁带中央上移, p 型半导体的费米能级相对于禁带中央下移。

试卷四十五

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：材料科学与工程

一、(15 分) 分别写出图 45-1 所示 5 种晶体所属的晶体点阵。

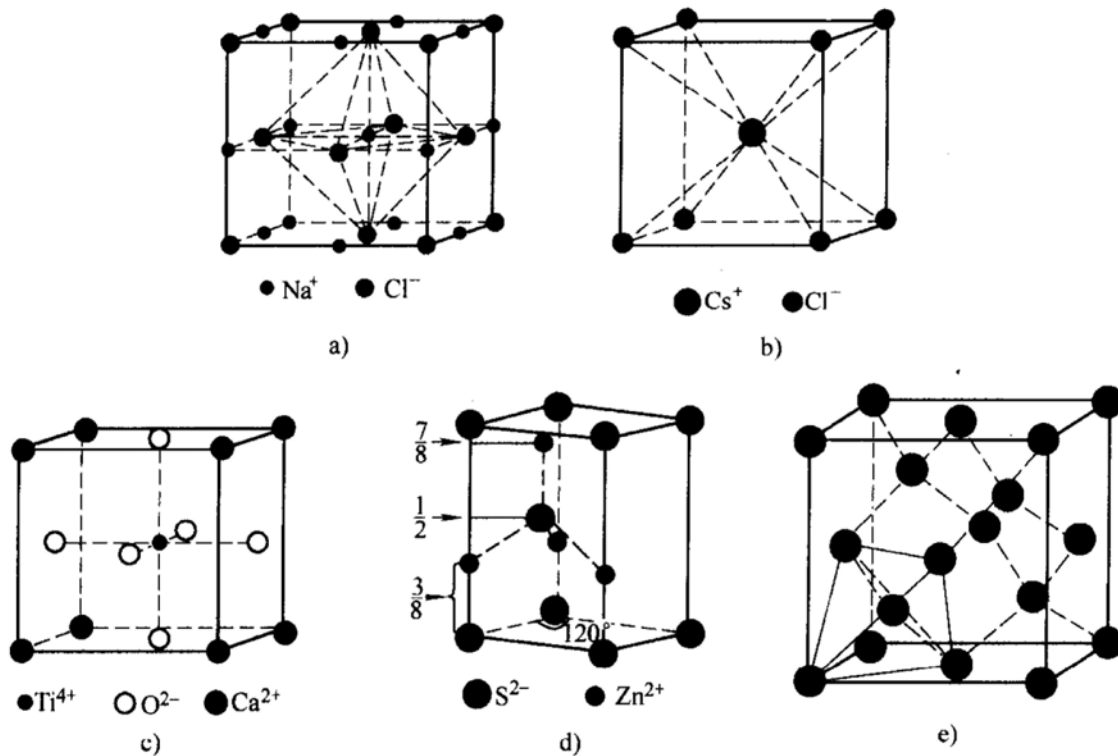


图 45-1 第一题图

a) NaCl 的晶体结构 b) CsCl 的晶体结构 c) CaTiO_3 的晶体结构
d) 六方 ZnS 的晶体结构 e) 金刚石的晶体结构

二、(15 分) 在面心立方单晶体金属的 $[112]$ 晶向上对其进行拉伸。

1. 写出晶体中开动的初始滑移系。
2. 在立方体中画出该拉伸方向及初始滑移系。

三、(30 分) 判断下列命题正确与否

1. 晶体滑移的方向就是该滑移面内位错线运动的方向。
2. 晶体中可以形成纯刃型位错环。
3. 螺型位错线只能进行滑移运动，不能进行攀移运动。

4. 就其本质而言, 孪晶也是层错。
5. 二元合金相图中, 液相线与固相线间距离越大, 则合金的流动性越差。
6. 空位的存在, 总是使晶体的自由能升高。
7. 位错的存在, 总是使晶体的自由能升高。
8. 在固相不扩散、液相完全混合的条件下, 固溶体凝固中不可能出现成分过冷。
9. 再结晶晶核长大的驱动力是形变储藏能的降低, 而再结晶晶粒长大的驱动力是总晶界能的降低。
10. 在三元相图的垂直截面图中, 不能利用重心法则求三个平衡相的质量分数。

四、(15 分) 已知 727°C 时, 平衡态铁碳合金中铁素体的最大碳含量为 $w_{\text{C}} = 0.0218\%$, 而奥氏体的碳含量为 $w_{\text{C}} = 0.77\%$ 。试问:

1. 碳原子分别位于铁素体和奥氏体晶体中的什么位置?
2. 解释为什么两者的碳含量差别如此之大。

五、(25 分) 针对平衡态的 T12 钢 ($w_{\text{C}} = 1.2\%$) 回答下列问题:

1. 写出其室温时的相组成物, 并计算各相组成物的质量分数。
2. 写出其室温时的组织组成物, 并计算各组织组成物的质量分数。
3. 画出其室温时的组织示意图, 并指示出其中的各组织组成物。
4. 比较它与平衡态 T10 钢的硬度和强度大小, 并解释引起差异的原因。

六、(20 分) 假设将纯铁工件在 800°C 进行渗碳, 且工件表面碳的质量分数为 6.69% 。

1. 示意画出工件表面至心部的碳质量分数分布曲线, 在所画曲线图中填写出相应的相组成物。
2. 说明碳质量分数按照上述曲线分布的原因。

七、(15 分) 定性比较陶瓷材料、金属材料、高分子材料的弹性模量的高低, 并从材料中结合键的角度分析存在差异的原因。

八、(15 分) 示意画出导体、绝缘体、半导体的能带结构, 并解释它们导电性明显不同的原因。

标准答案

一、a) 面心立方点阵; b) 简单立方点阵; c) 简单立方点阵; d) 简单六方点阵; e) 面心立方点阵。

二、

1. $(\bar{1}\bar{1}1)$ $[011]$ 和 $(\bar{1}11)$ $[101]$ 。

2. 见图 45-2。

三、1. 错误；2. 正确；3. 正确；4. 正确；5. 正确；6. 错误；7. 正确；8. 正确；9. 正确；10. 正确。

四、

1. 碳原子位于铁素体晶体中的扁八面体间隙中心位置，位于奥氏体晶体中的正八面体间隙中心位置。

2. 因为铁素体晶体中的扁八面体间隙半径比奥氏体晶体中的正八面体间隙半径小得多。

五、

1. $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$

$$w_{\alpha} = \frac{6.69 - 1.2}{6.69 - 0.0008} \times 100\% \approx 82.07\%$$

$$w_{\text{Fe}_3\text{C}} = \frac{1.2 - 0.0008}{6.69 - 0.0008} \times 100\% \approx 17.93\%$$

2. $\text{P} + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$

$$w_{\text{P}} = \frac{6.69 - 1.2}{6.69 - 0.77} \times 100\% \approx 92.74\%$$

$$w_{\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}} = \frac{1.2 - 0.77}{6.69 - 0.77} \times 100\% \approx 7.26\%$$

3. 见图 45-3。

4. T12 的硬度高于 T10，因前者中 Fe_3C 的质量分数多于后者；T12 的强度低于 T10，因前者中 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$ 的质量分数多于后者且呈连续网状分布。

六、

1. 见图 45-4。

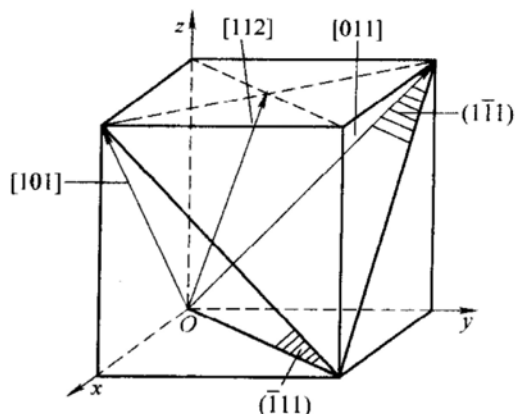


图 45-2 第二题第 2 小题解答图

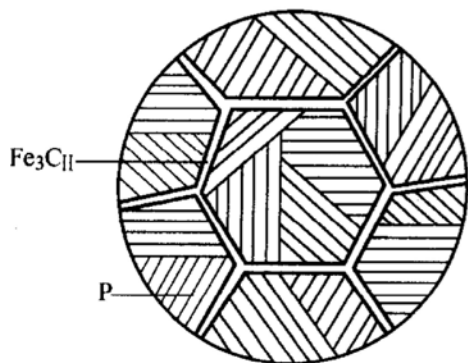


图 45-3 第五题第 3 小题解答图

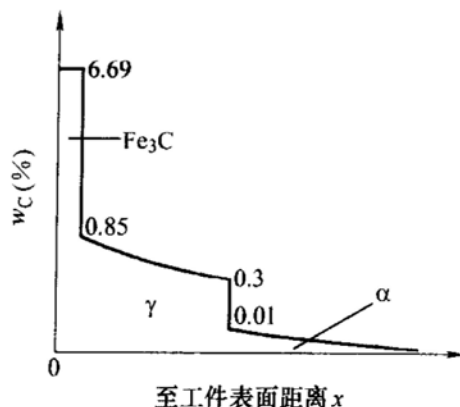


图 45-4 第六题第 1 小题解答图

2. 二元合金扩散时会发生反应扩散，且扩散层中不会存在两相共存区。

七、三类材料中，陶瓷材料的弹性模量最大，金属材料的弹性模量次之，高分子材料的弹性模量最小。材料弹性模量的大小取决于材料中结合键的强弱。陶瓷材料由很强的离子键或共价键结合，故其弹性模量很大；金属材料由较弱的金属键结合，故其弹性模量较小；高分子材料分子链中为很强的共价键，但分子链间由很弱的二次键结合，故其弹性模量很小。

八、导体、绝缘体、半导体的能带结构示意于图 45-5。导体中有未填满的导带，因而有良好的导电性；绝缘体中虽有空心的导带，但导带与价带间的禁带宽度（或能隙）很大，故很难导电；半导体中有空的导带，且导带与价带间的禁带宽度较小，故有一定导电性。

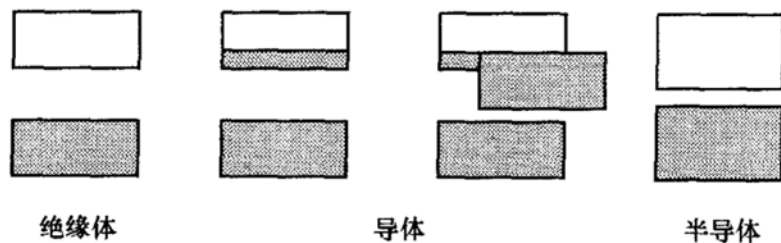


图 45-5 第八题解答图

西安交通大学

试卷二十五

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、(共 30 分) 根据图 25-1 所示回答下列问题。

1. (22 分) 如图 25-1a 所示边长为 a 的立方晶胞中, $ABCD$ 晶面及 AC 晶向是晶体的一个滑移系。

(1) (6 分) 写出 $ABCD$ 晶面及 AC 晶向的密勒指数。

(2) (2 分) 该晶体为何种立方结构?

(3) (4 分) 写出 $ABCD$ 晶面的面间距。

(4) (6 分) 当分别在晶体的 $[\bar{1}\bar{1}1]$ 、 $[1\bar{1}2]$ 、 $[123]$ 方向拉伸时, 其中哪一个方向的拉应力能使 $ABCD$ 晶面及 AC 晶向组成的滑移系首先开动?

(5) (2 分) 当 $ABCD$ 晶面及 AC 晶向组成的滑移系首先开动后, 下一个开动的滑移系是什么?

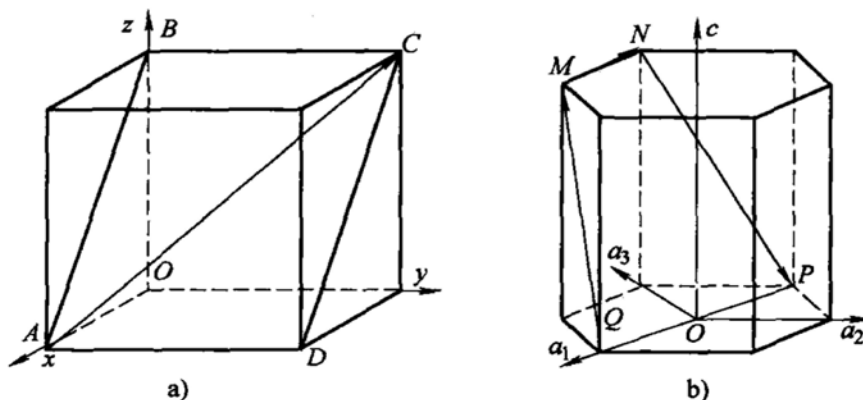


图 25-1 第一题图

a) 第 1 小题图 b) 第 2 小题图

(6) (2 分) 当 $ABCD$ 晶面及 AC 晶向组成的滑移系首先开动后, 若晶体发生交滑移, 写出可能的交滑移系。

2. (8 分) 写出图 25-1b 所示六方晶胞中 $MNPQM$ 晶面、 QM 晶向、 MN 晶向、 NP 晶向的密勒-布拉菲指数。

二、(共 20 分) 立方形晶体中的位错环 $ABCD$ 如图 25-2 所示。 AB 段和 CD 段平行于 Z 轴, AD 段和 BC 段平行于 X 轴, 位错环的柏氏矢量 b 平行于 Y 轴, $AD = d$ 。刃位错的应力场 σ_e 和螺位错的应力场 σ_s 公式如下:

$$\sigma_e = \begin{pmatrix} \frac{-Gb}{2\pi(1-\nu)} \frac{y(3x^2+y^2)}{(x^2+y^2)^2} & \frac{Gb}{2\pi(1-\nu)} \frac{x(x^2-y^2)}{(x^2+y^2)^2} & 0 \\ \frac{Gb}{2\pi(1-\nu)} \frac{x(x^2-y^2)}{(x^2+y^2)^2} & \frac{Gb}{2\pi(1-\nu)} \frac{y(x^2-y^2)}{(x^2+y^2)^2} & 0 \\ 0 & 0 & \nu(\sigma_{xx} + \sigma_{yy}) \end{pmatrix}$$

$$\sigma_s = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \frac{-Gb}{2\pi} \frac{y}{x^2+y^2} \\ 0 & 0 & \frac{Gb}{2\pi} \frac{x}{x^2+y^2} \\ \frac{-Gb}{2\pi r} \frac{y}{x^2+y^2} & \frac{Gb}{2\pi} \frac{x}{x^2+y^2} & 0 \end{pmatrix}$$

1. (12 分) 指出各段位错线是什么性质的位错 (如为螺位错, 指出其是左旋或右旋; 如为刃位错, 指出其半原子面)。

2. (4 分) AB 段对 CD 段单位长度的作用力是多大, 在什么方向?

3. (4 分) 在外应力 τ_{xy} 作用下, 单位长度各段位错所受的力各是多大, 在什么方向?

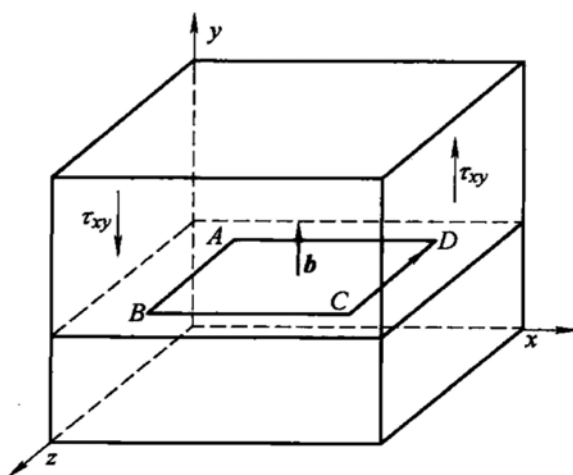


图 25-2 第二题图

三、(共 30 分) 回答下列问题。

1. (8 分) 写出平衡态 T12 钢在室温时的相组成物, 并计算各相组成物的质量百分数。

2. (8 分) 写出平衡态 T12 钢在室温时的组织组成物, 并计算各组织组成物的质量百分数。

3. (6 分) 假设将 T12 钢工件在 780°C 进行长时间加热时发生严重脱碳, 工件表面碳质量分数 $w_{\text{C}}=0$ 。试画出 780°C 时工件表面至心部的碳质量分数分布曲线示意图, 并在图中标出不同区间的组成相。

4. (8 分) 图 25-3 所示为四种不同碳含量的碳钢的室温平衡组织, 试估计它们各自的碳质量百分数 w_{C} 。

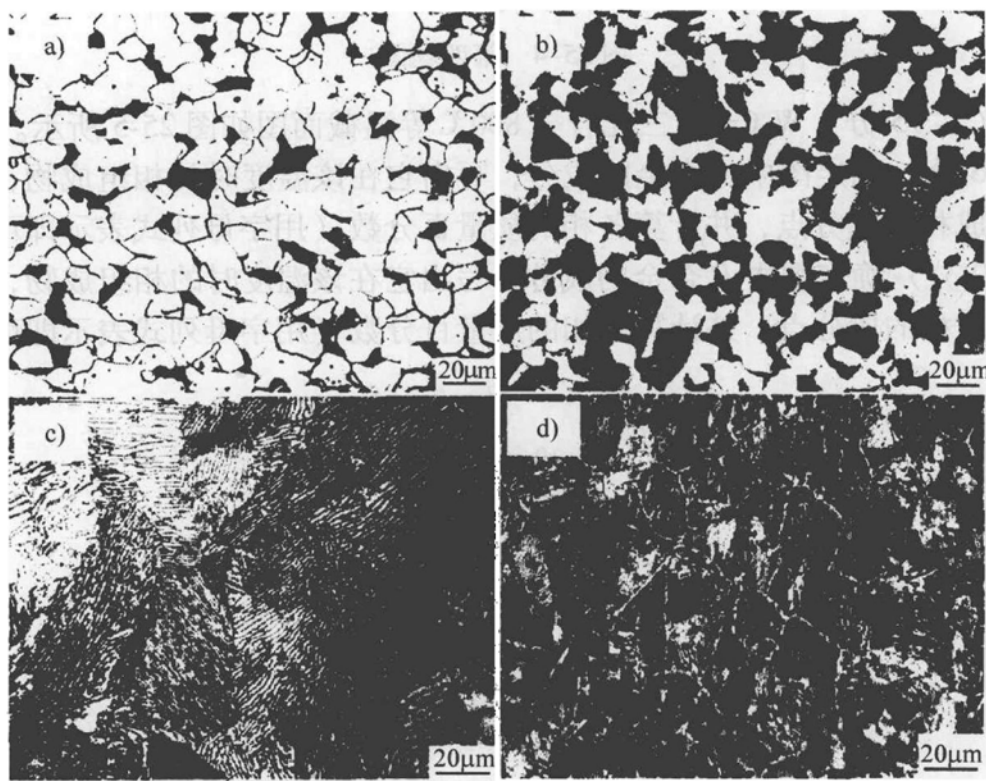


图 25-3 第三题第 4 小题图

四、(共 25 分) A-B 二元合金相图如图 25-4 所示。在固相不扩散、液相完全混合条件下, 水平放置的质量分数 $w_{\text{B}}=20\%$ 的 A-B 二元合金熔液从左至右定向凝固成长为 L 的横截面均匀的合金棒。

1. (5 分) 计算棒中单相 α 固溶体段占棒长的分数 $\frac{z}{L}$ 。

提示: 正常凝固方程为 $C_{\text{S}}(z) = C_0 k_0 \left(1 - \frac{z}{L}\right)^{k_0 - 1}$ 。

2. (10 分) 画出合金棒中组织沿棒长分布及合金棒中 B 组元浓度沿棒长分布曲线示意图。

3. (5 分) 计算合金棒中单相 α 固溶体段的平均 B 含量 w_B 。
4. (5 分) 该棒单相 α 固溶体段是否会生长成树枝晶? 为什么?

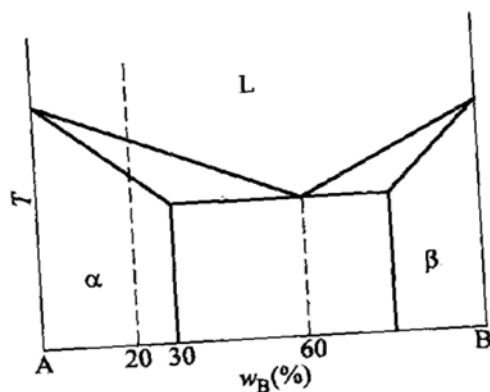


图 25-4 第四题图

五、(共 15 分) W-Cr-Ni 三元合金 800℃ 等温截面图如图 25-5 所示。

1. (6 分) 确定图中 A 合金的成分, 写出它在该温度时的相组成物, 在图中标出各组成相的成分点, 并计算各相的质量百分数 (用字母列式表示即可)。
2. (9 分) 确定图中 B 合金的成分, 写出它在该温度时的相组成物, 在图中标出各组成相的成分点, 并计算各相的质量百分数 (用字母列式表示即可)。

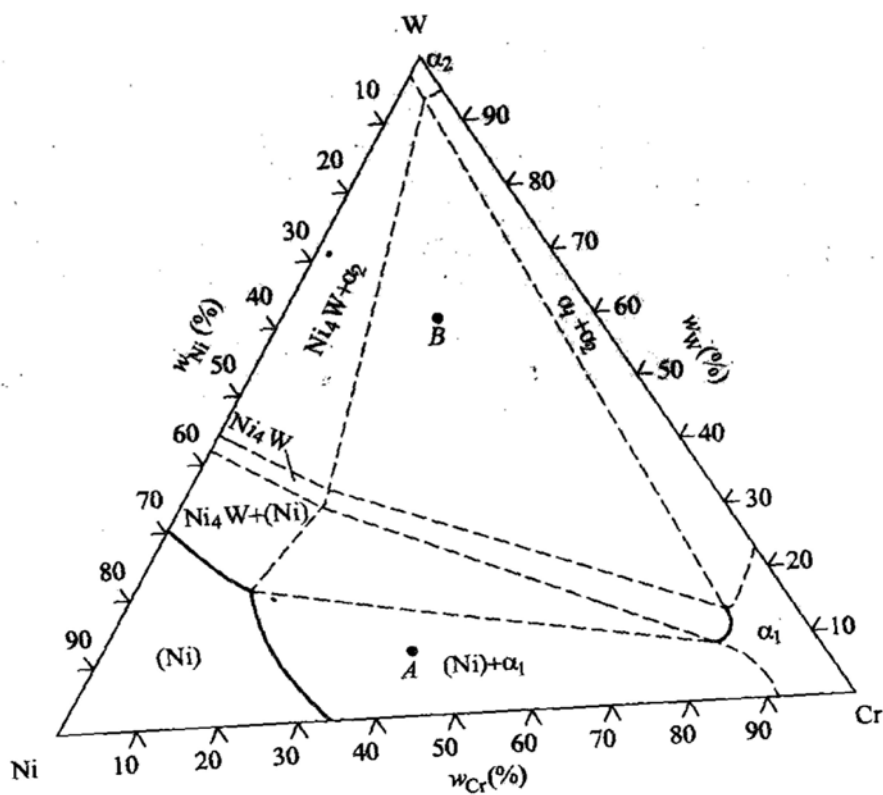


图 25-5 第五题图

六、(30 分) 从材料组织结构对性能影响的角度, 定性分析比较金属材料、

陶瓷材料、高分子材料在力学性能方面的差异。

标准答案

一、

1.

(1) $ABCD$ 晶面: (101) 。

AC 晶向: $[\bar{1}11]$ 。

(2) 体心立方结构。

(3) $\frac{\sqrt{2}}{2}a$ 。

(4) 解法一: 在 $[\bar{1}\bar{1}1]$ 方向拉伸时, 有 6 个滑移系首先同时开动; 在 $[\bar{1}1\bar{2}]$ 方向拉伸时, 有 2 个滑移系首先同时开动; 在 $[123]$ 方向拉伸时, 只有 1 个滑移系首先开动。故在 $[123]$ 方向的拉伸使 $ABCD$ 晶面及 AC 晶向组成的滑移系首先开动。

解法二: 根据作用在滑移系上的分切应力 $\tau = \sigma \cos \varphi \cos \lambda$, 当 $\varphi = 0$ 或 $\lambda = 0$ 时, $\tau = 0$, 该滑移系上无分切应力, 因而不能开动。在 $[\bar{1}\bar{1}1]$ 方向拉伸时, $[\bar{1}\bar{1}1] \cdot [101] = 0$, 故滑移系 $(101) [\bar{1}11]$ 不能开动; 在 $[\bar{1}1\bar{2}]$ 方向拉伸时, $[\bar{1}1\bar{2}] \cdot [\bar{1}11] = 0$, 故滑移系 $(101) [\bar{1}11]$ 不能开动; 在 $[123]$ 方向拉伸时, $[123] \cdot [101] \neq 0$, $[123] [\bar{1}11] \neq 0$, 故滑移系 $(101) [\bar{1}11]$ 首先开动。

(5) 单晶体拉伸时, 在只有一个滑移系首先开动的情况下, 力轴会向滑移方向转动, 从而引起双滑移。在本题中, 当力轴转动到 $[034]$ 方向时, 开始发生双滑移, 因此, 开动的下一个滑移系是 $(\bar{1}01) [\bar{1}11]$ 。

(6) 始滑移系可能的交滑移系是所有 12 个滑移系中与始滑移系有相同滑移方向但不同滑移面的那些滑移系, 由此可以得出如下结果:

$(0\bar{1}1) [\bar{1}11]$ 和 $(110) [\bar{1}11]$

2. $MNPQM$ 晶面: $(01\bar{1}1)$ 。

QM 晶向: $[\bar{1}\bar{1}23]$ 。

MN 晶向: $[\bar{2}110]$ 。

NP 晶向: $[\bar{1}2\bar{1}3]$ 。

二、

1. AB 、 BC 、 CD 、 DA 段均为刃位错, 位错环外的平面为半原子面。

2. $\frac{Gb^2}{2\pi(1-\nu)d}$, $-x$ 方向。

3. AB 段: τb , $-y$ 方向。

BC 段: 不受力。

CD 段: τb , y 方向。

DA 段: 不受力。

三、

1. 相组成物: $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ 。

$$w_\alpha = \frac{6.69 - 1.2}{6.69 - 0.0008} \times 100\% \approx 82.1\%$$

$$w_{\text{Fe}_3\text{C}} = 1 - w_\alpha \approx 17.9\%$$

2. 组织组成物: $\text{P} + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$ 。

$$w_{\text{P}} = \frac{6.69 - 1.2}{6.69 - 0.77} \times 100\% \approx 92.7\%$$

$$w_{\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}} = 1 - w_{\text{P}} \approx 7.3\%$$

3. 如图 25-6 所示。

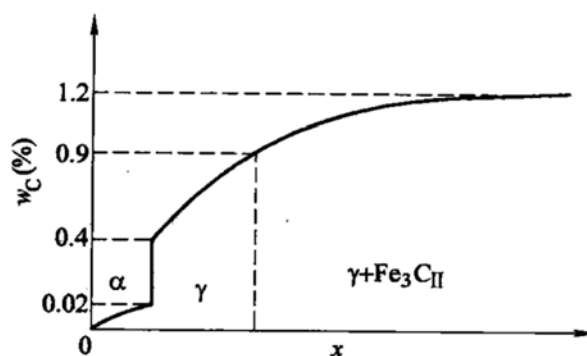


图 25-6 第三题第 3 小题解答图

4. a): $w_C \approx 0.2\%$

b): $w_C \approx 0.4\%$

c): $w_C \approx 0.77\%$

d): $w_C \approx 1.2\%$

四、

$$1. \frac{z}{L} = 1 - \left(\frac{C_s}{C_0 k_0} \right)^{\frac{1}{k_0 - 1}}$$

$$C_s = 30\%$$

$$C_0 = 20\%$$

$$k_0 = \frac{30\%}{60\%} = \frac{1}{2}$$

故
$$\frac{z}{L} = 1 - \left(\frac{30}{20 \times \frac{1}{2}} \right)^{\frac{1}{2}-1} = \frac{8}{9}$$

2. 如图 25-7 所示。

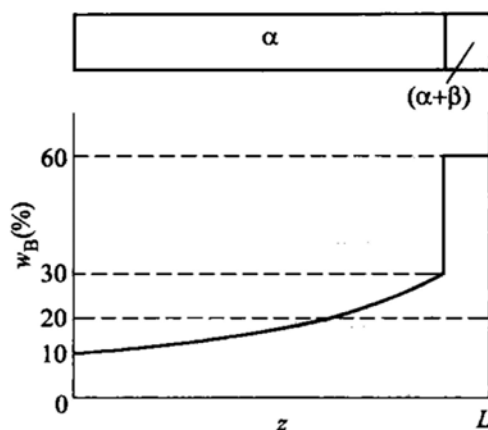


图 25-7 第四题第 2 小题解答图

3. 解法一：

$$\overline{w_B} = \frac{1}{\frac{8}{9}L} \int_0^{\frac{8}{9}L} C_0 k_0 \left(1 - \frac{z}{L} \right)^{k_0-1} dz = \frac{1}{\frac{8}{9}L} \int_0^{\frac{8}{9}L} 20\% \times \frac{1}{2} \left(1 - \frac{z}{L} \right)^{\frac{1}{2}-1} dz = 15\%$$

解法二：

$$(20\% - \overline{w_B}) \times \frac{8}{9}L = (60\% - 20\%) \times \frac{1}{9}L$$

得 $\overline{w_B} = 15\%$

解法三：应用杠杆定理，可得如图 25-8 所示的杠杆。

$$\frac{60\% - 20\%}{60\% - \overline{w_B}} = \frac{8}{9}$$

得 $\overline{w_B} = 15\%$

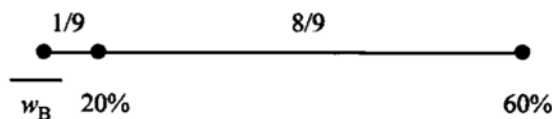


图 25-8 第四题第 3 小题解法三解答图

解法四：根据溶质原子质量守恒，可得如下方程式：

$$\frac{8}{9}\overline{w_B} + \left(1 - \frac{8}{9} \right) \times 60\% = 20\%$$

得 $\overline{w_B} = 15\%$

4. 该棒单相 α 固溶体段不会生长成树枝晶。该棒为定向凝固，固液界面前

沿不会造成负温度梯度。在正温度梯度下，当存在成分过冷时，固溶体才会长成树枝晶。但该固溶体棒是在固相不扩散、液相完全混合条件下定向凝固的，固液界面前沿液体的理论结晶温度是相同的，在正温度梯度下，不会产生成分过冷，故不会生长成树枝晶。

五、

1. A 合金的成分：50% Ni-40% Cr-10% W。

相组成物：(Ni) + α_1 。

各相的成分：如图 25-9 所示，(Ni) 的成分为 a 点； α_1 的成分为 b 点。

各相的质量分数： $w_{\text{Ni}} = \frac{Ab}{ab} \times 100\%$

$$w_{\alpha_1} = \frac{Aa}{ab} \times 100\%$$

2. B 合金的成分：20% Ni-20% Cr-60% W。

相组成物： $\alpha_1 + \alpha_2 + \text{Ni}_4\text{W}$ 。

各相的成分：如图 25-9 所示， α_1 的成分为 e 点； α_2 的成分为 c 点； Ni_4W 的成分为 d 点。

各相的质量分数： $w_{\alpha_1} = \frac{Bf}{ef} \times 100\%$

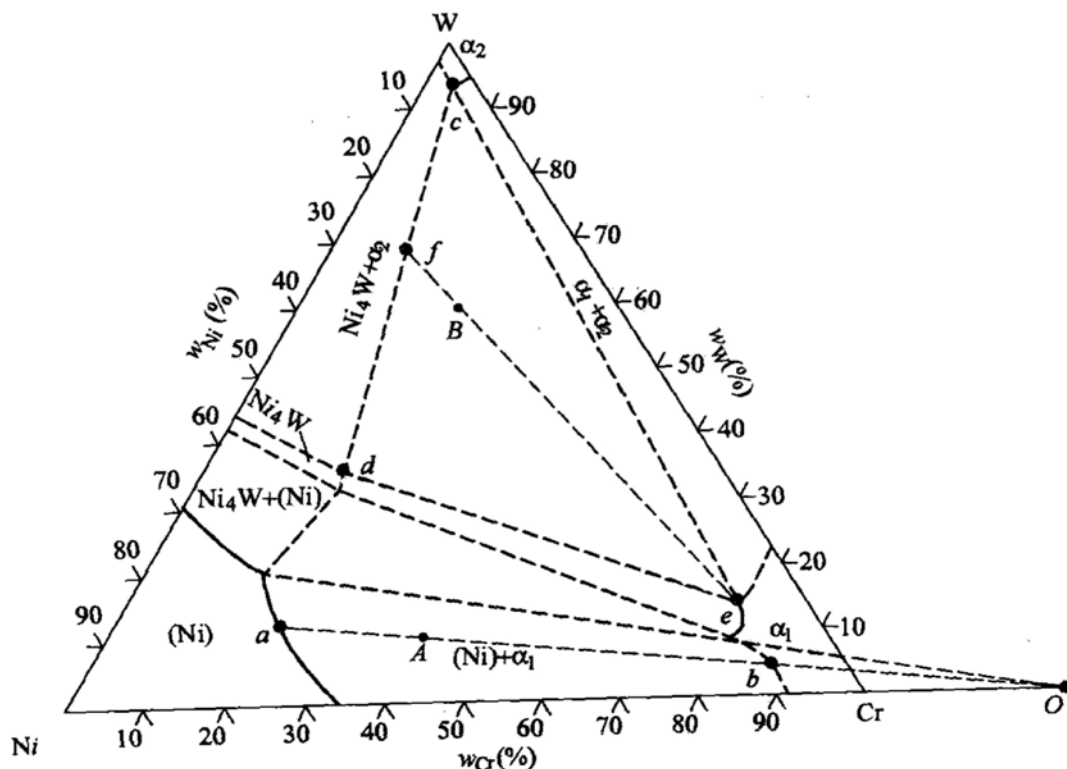


图 25-9 第五题解答图

$$w_{\alpha_2} = \frac{Be}{ef} \times \frac{df}{dc} \times 100\%$$

$$w_{Ni_4W} = \frac{Be}{ef} \times \frac{cf}{dc} \times 100\%$$

六、(30 分)

在这三类材料中，金属材料的力学性能特点是：优异的塑性和韧性，较高的强度和硬度，较大的弹性和较高的弹性模量；陶瓷材料的力学性能特点是：塑性和韧性几乎为零，极高的硬度和较低的强度（特别是抗拉强度），极小的弹性和极大的弹性模量；高分子材料的力学性能特点是：较高的塑性和韧性，较低的硬度和强度，极大的弹性和极小的弹性模量。

这三类材料在力学性能方面的上述差异，主要是由这三类材料在组织结构方面的特点不同所造成的。材料的弹性及弹性模量主要取决于材料中原子结合键的强弱。陶瓷材料为共价键和离子键，结合键力最强，因此其弹性模量最高但弹性最小；高分子材料的分子链中为很强的共价键，但分子链之间为很弱的氢键和范德华键，因此其弹性模量最低但弹性最好；金属材料为较强的金属键结合，故其弹性模量和弹性居中。材料的硬度也主要取决于材料中原子结合键的强弱，所以，陶瓷材料有极高的硬度，而高分子材料的硬度很低。材料的强度既与结合键有关也与组织有关，陶瓷材料虽然有很强的结合键，但由于烧结成形中不可避免地形成气孔或微裂纹，故其强度特别是抗拉强度较低；高分子材料中很弱的氢键和范德华键使其强度也较低；金属材料中的金属键虽然不是很强，但高的致密度以及高密度的位错使其具有很高的强度。金属材料中的自由电子云和容易运动的位错以及较高的致密度，使其具有良好的塑性和韧性；陶瓷材料中的位错不易运动，加之存在气孔和微裂纹，因而陶瓷材料的塑性和韧性几乎为零；高分子材料中很弱的氢键和范德华键使分子间可以较好地相互滑动，因而有较好的塑性和韧性。

试 卷 二 十 六

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、(共 20 分)

1. (4 分) 写出图 26-1 所示立方晶胞中 $ABCD$ 晶面及 BD 晶向的密勒指数。
2. (10 分) 写出图 26-2 所示六方晶胞中 $EFGHIJE$ 晶面、 EF 晶向、 FG 晶向、 GH 晶向、 JE 晶向的密勒-布拉菲指数。
3. (6 分) 已知晶体中两不平行晶面 $(h_1k_1l_1)$ 和 $(h_2k_2l_2)$ ，证明晶面 $(h_3k_3l_3)$ 与 $(h_1k_1l_1)$ 和 $(h_2k_2l_2)$ 属于同一晶带，其中 $h_3 = h_1 + h_2$ ， $k_3 = k_1 + k_2$ ， $l_3 = l_1 + l_2$ 。

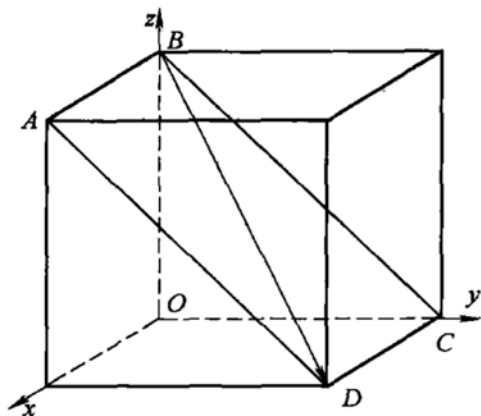


图 26-1 第一题第 1 小题图

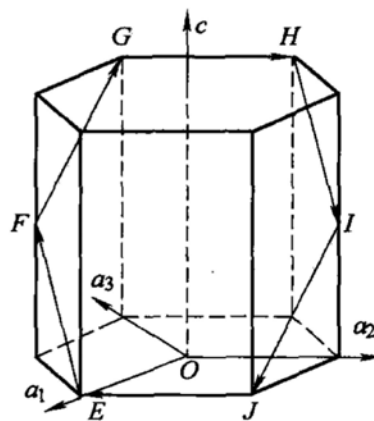


图 26-2 第一题第 2 小题图

二、(每小题 5 分，共 30 分) 针对铁-碳合金回答下列问题：

1. 画出 Fe-Fe₃C 平衡相图，并填写各相区的平衡相。
2. γ -Fe 在 912℃ 时转变为 α -Fe。这种转变称为什么转变？转变后的体积膨胀还是收缩？假定铁原子半径不变，则体积变化率 $\frac{V_\alpha - V_\gamma}{V_\gamma}$ 是多少？
3. 已知 727℃ 时，碳在奥氏体中的溶解度为 $w_c = 0.77\%$ ，而在铁素体中的极限溶解度仅为 $w_c = 0.0218\%$ 。请解释二者差别如此明显的原因。
4. 已知低碳钢常在 920℃ 左右进行气体渗碳。请解释选择这一温度的原因。

5. 碳质量分数 $w_c = 0.2\%$ 的低碳钢工件在 920°C 进行表面气体渗碳, 工件表面碳浓度始终保持为 $w_c = 1.0\%$, 并将工件中碳浓度为 $w_c = 0.4\%$ 处至表面的距离 x 定义为渗碳层深度。已知渗碳 1 h 后, 渗碳层深度为 0.12mm , 若要求渗碳层深度达到 0.48mm , 计算共需渗碳多长时间。

6. 示意画出平衡态碳钢的强度随钢含碳量的变化曲线, 并从成分-组织-性能的角度定性解释之。

三、(共 30 分) 在晶格常数为 a 的体心立方单晶体的 $[123]$ 方向进行压缩变形, 已知其屈服强度为 σ_s 。

1. (6 分) 写出晶体的始滑移系及其可能的交滑移系。
2. (6 分) 计算晶体开始滑移的临界分切应力 τ_c 。
3. (12 分) 分别写出屈服时晶体中所开动的刃位错和螺位错的位错线方向及柏氏矢量, 以及它们滑移运动的方向。
4. (6 分) 若该压缩试样的一个自由表面为 $(11\bar{1})$, 写出该面上滑移线的方向。

四、(共 20 分) 某 $A-B-C$ 三组元在液态完全互溶, 固态完全不互溶, 且具有共晶反应, 其三元相图的全投影图如图 26-3 所示。图中 O 点成分的合金自液态平衡冷却至室温。

1. (8 分) 分析 O 合金的平衡结晶过程。
2. (6 分) 写出室温时的相组成物和组织组成物。
3. (6 分) 计算室温时各相组成物的质量百分数和各组织组成物的质量百分数。

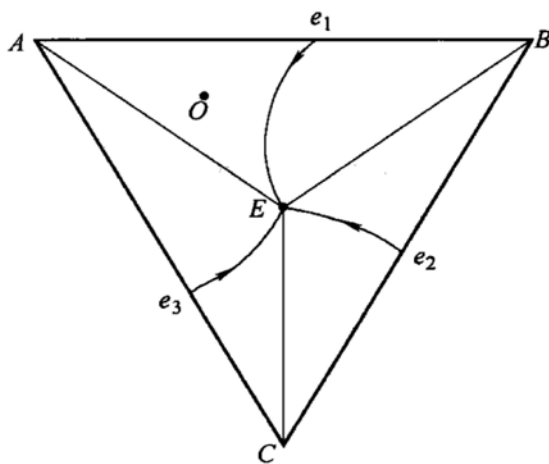


图 26-3 第四题图

五、(20 分) 假设纯金属熔液按均匀形核方式形核, 晶核形状为立方体。试证明: 临界形核功 ΔG^* 等于临界晶核表面能的三分之一, 即

$$\Delta G^* = \frac{1}{3} A^* \sigma$$

式中, A^* 为临界晶核表面积; σ 为晶核的比表面能。

六、(每小题 6 分, 共 30 分) 简答下列问题:

1. 何谓 n 型半导体? 何谓 p 型半导体? 两者的载流子特征有何不同?
2. 何谓塑料? 何谓橡胶? 两者在室温时的力学性能有何显著差别?
3. 何谓陶瓷? 从组织结构的角度解释其主要性能特点。
4. 何谓合金的成分过冷? 用成分过冷概念解释为什么共晶点成分的合金具有最好的铸造性能。
5. 何谓金属的结晶? 何谓金属的再结晶? 两者是否都是相变, 为什么? 两者的驱动力是否相同, 为什么?

标准答案

一、

1. ABCDA 晶面: (011)

BD 晶向: $[\bar{1}1\bar{1}]$

2. EFGHIJE 晶面: (10 $\bar{1}2$)

EF 晶向: $[\bar{2}243]$

FG 晶向: $[\bar{4}223]$

GH 晶向: $[\bar{1}2\bar{1}0]$

JE 晶向: $[\bar{1}2\bar{1}0]$

3. 证明: 由于两不平行晶面属于同一晶带, 设 $(h_1 k_1 l_1)$ 和 $(h_2 k_2 l_2)$ 所属晶带的晶带轴为 $[uvw]$ 。

根据晶带定理

$$hu + kv + lw = 0 \quad (26-1)$$

可得

$$h_1 u + k_1 v + l_1 w = 0 \quad (26-2)$$

$$h_2 u + k_2 v + l_2 w = 0 \quad (26-3)$$

式 (26-2) 与式 (26-3) 相加可得

$$(h_1 + h_2) u + (k_1 + k_2) v + (l_1 + l_2) w = 0 \quad (26-4)$$

即

$$h_3 u + k_3 v + l_3 w = 0 \quad (26-5)$$

比较式 (26-5) 和式 (26-1) 可知, 晶面 $(h_3 k_3 l_3)$ 也属于以 $[uvw]$ 为晶带轴的晶带。

故, 晶面 $(h_3 k_3 l_3)$ 与 $(h_1 k_1 l_1)$ 和 $(h_2 k_2 l_2)$ 属于同一晶带。

二、

1. 略。
2. 这种转变称为同素异构转变。

由于 γ -Fe 是面心立方结构, α -Fe 是体心立方结构, 前者的致密度大于后者, 故转变后体积膨胀。

考虑晶体中的 4 个铁原子, 可构成一个 γ -Fe 的晶胞, 或两个 α -Fe 的晶胞。设 γ -Fe 的晶胞边长为 a , α -Fe 的晶胞边长为 b , 铁原子半径为 r 。

$$\begin{aligned} \text{则} \quad 4r &= \sqrt{2} a = \sqrt{3} b & b &= \frac{\sqrt{2} a}{\sqrt{3}} \\ V_{\gamma} &= a^3 \\ V_{\alpha} &= 2b^3 = \frac{\sqrt{32} a^3}{\sqrt{27}} \\ \frac{V_{\alpha} - V_{\gamma}}{V_{\gamma}} &= \frac{\frac{\sqrt{32} a^3}{\sqrt{27}} - a^3}{a^3} \approx 8.87\% \end{aligned}$$

转变后的体积膨胀率约为 8.87%。

3. 奥氏体为面心立方结构, 碳原子位于其八面体间隙中; 铁素体为体心立方结构, 碳原子位于其扁八面体间隙中。面心立方的八面体间隙半径与铁原子半径之比 (0.414) 大于体心立方的八面体间隙半径与铁原子半径之比 (0.155), 而碳原子半径大于间隙半径, 一个碳原子固溶于奥氏体中所引起的晶体能量增高远小于固溶于铁素体中所引起的晶体能量增高。

4. 影响扩散的主要因素为温度和扩散组元的浓度梯度。在 920℃ 左右渗碳时, 碳在奥氏体 (面心立方结构) 中扩散, 过高的温度会引起奥氏体晶粒粗大; 但温度过低, 碳将在铁素体 (体心立方结构) 中扩散, 碳在铁素体中的极限溶解度比在奥氏体中小得多, 因而浓度梯度也小得多。

5. 根据 $\beta = \frac{x}{2\sqrt{Dt}}$, 当 β 恒定时, x 与 \sqrt{t} 成正比。 x 变为 4 倍, 则 t 变为 16 倍, 故共需 16h。

6. 如图 26-4 所示, 强度随碳含量增加先增高后下降, 在碳含量约 1.0% 时为强度极大值。强度的这种变化与平衡态碳钢中的组织随碳含量变化有关: 当 $w_c < 0.77\%$ 时, 钢中的组织为铁素体 + 珠光体, 且珠光体的质量分数随碳含量增高而增大, 而珠光体在钢中起强化作用, 故强度随碳含量增加而增高; 当 $w_c > 0.77\%$ 后, 钢中的组织为二次渗碳体 + 珠光体, 二次渗碳体以网状分割珠光体, 且二次渗碳体的质量分数随碳含量增高而增大。渗碳体硬而脆, 少量不连续分布的二次渗碳体起强化作用, 故强度随碳含量增加继续增高; 但当 $w_c \geq 1.0\%$ 后, 二次渗碳体的质量分数增加到呈连续网状分布, 则会在外力作用下首先断裂形成微裂纹, 故强度下降。

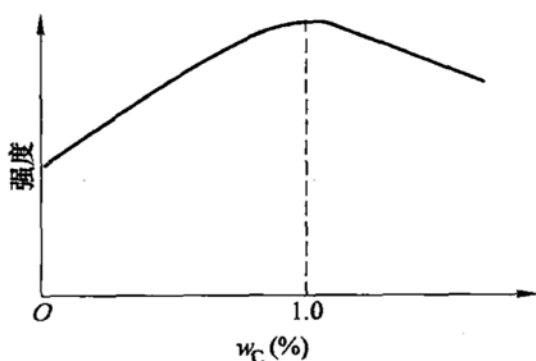


图 26-4 第二题第 6 小题解答图

三、

1. 体心立方晶体共有 12 个可能的滑移系 $\{110\} \langle \bar{1}11 \rangle$ 。根据作用在滑移系上的分切应力 $\tau = \sigma \cos \varphi \cos \lambda$ ，施密特因子 $\cos \varphi \cos \lambda$ 最大的滑移系为始滑移系。也可以使用立方晶系的标准投影图进行判断。结果如下：始滑移系为： $(101) [\bar{1}11]$ 。

可能的交滑移系为：始滑移系可能的交滑移系是所有 12 个滑移系中与始滑移系有相同滑移方向但不同滑移面的那些滑移系，由此可以得出如下结果： $(110) [\bar{1}11]$ 和 $(0\bar{1}1) [\bar{1}11]$ 。

$$2. \tau_c = \sigma_s \cos \varphi \cos \lambda$$

$$= \sigma_s \cdot \frac{[101] \cdot [123]}{|101| \times |123|} \cdot \frac{[\bar{1}11] \cdot [123]}{|\bar{1}11| \times |123|} = \sigma_s \cdot \frac{4}{\sqrt{2} \times \sqrt{14}} \cdot \frac{4}{\sqrt{3} \times \sqrt{14}} = \frac{4\sqrt{6}}{21} \sigma_s$$

3. 晶体的滑移实际上是晶体滑移面内柏氏矢量与晶体滑移方向相同的位错线滑移运动的结果。因此，可得如下结果：

刃位错：位错线方向为 $[\bar{1}21]$ ，柏氏矢量为 $\frac{a}{2} [\bar{1}11]$ ，滑移运动方向为 $[\bar{1}11]$ 。

螺位错：位错线方向为 $[\bar{1}11]$ ，柏氏矢量为 $\frac{a}{2} [\bar{1}11]$ ，滑移运动方向为 $[\bar{1}21]$ 。

4. 晶体的滑移面与晶体外表面的交线是可能的滑移线，其中，与晶体的滑移方向不平行的那些交线便是滑移线。

$$[101] \times [\bar{1}11] = [\bar{1}21] \neq [\bar{1}11]$$

故滑移线的方向为： $[\bar{1}21]$ 。

四、

1. 平衡结晶过程：如图 26-5 所示，连接 A、O 两点并延长，交 Ee_1 线于 d 点，交 BC 线于 a 点；连接 E、d 两点并延长，交 AB 线于 f 点。当温度降至稍低

于合金成分线与液相面 Ae_1Ee_3A 的交点时, 开始从液体中结晶出成分为 A 的初生晶 $A_{\text{初}}$; 随温度降低, $A_{\text{初}}$ 的量不断增多但成分不变, 剩余液体的量减少且成分从 O 点沿 Od 线变化; 当剩余液体的成分变到 d 点时, 液体开始发生两相共晶转变, 结晶出 $(A+B)_{\text{共晶}}$, 随温度降低, 液体的量减少且成分从 d 点沿 dE 线变化, 当剩余液体的成分变到 E 点时, $(A+B)_{\text{共晶}}$ 的平均成分为 f 点; E 点成分的液体在恒温下发生三相共晶转变, 全部结晶为 $(A+B+C)_{\text{共晶}}$, 直至室温不再发生变化。

2. 室温时的相组成物为: $A+B+C$ 。

室温时的组织组成物为: $A_{\text{初}} + (A+B)_{\text{共晶}} + (A+B+C)_{\text{共晶}}$ 。

3. 连接 B 、 O 两点并延长 BO , 交 AC 线于 b 点; 连接 C 、 O 两点并延长 CO , 交 AB 线于 c 点, 则:

室温时各相组成物的质量百分数分别为

$$w_A = \frac{Oa}{Aa} \times 100\%$$

$$w_B = \frac{Ob}{Bb} \times 100\%$$

$$w_C = \frac{Oc}{Cc} \times 100\%$$

室温时各组织组成物的质量百分数分别为

$$w_{A_{\text{初}}} = \frac{Od}{Ad} \times 100\%$$

$$w_{(A+B)_{\text{共晶}}} = \frac{Ed}{Ef} \times \frac{AO}{Ad} \times 100\%$$

$$w_{(A+B+C)_{\text{共晶}}} = \frac{df}{Ef} \times \frac{AO}{Ad} \times 100\%$$

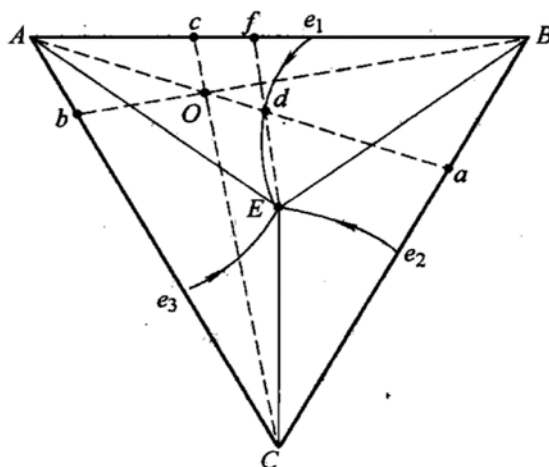


图 26-5 第四题解答图

五、

设立方体晶核的边长为 a ，液体与固体间的单位体积自由能差为 ΔG_v ，晶核表面积为 A ，晶核的体积为 V ，则形核时自由能变化 ΔG 为

$$\Delta G = V\Delta G_v + As = a^3 \Delta G_v + 6a^2 s$$

令 $\frac{d(\Delta G)}{da} = 0$ ，解得临界晶核边长 a^* 为

$$a^* = \frac{-4s}{\Delta G_v}$$

则临界形核功 ΔG^* 为

$$\Delta G^* = (a^*)^3 \Delta G_v + 6(a^*)^2 s = \frac{32s^3}{(\Delta G_v)^2}$$

而临界表面形核能为

$$A^* s = 6(a^*)^2 s = 6 \left(\frac{-4s}{\Delta G_v} \right)^2 s = \frac{96s^3}{(\Delta G_v)^2}$$

$$\frac{\Delta G^*}{A^* s} = \frac{\frac{32s^3}{(\Delta G_v)^2}}{\frac{96s^3}{(\Delta G_v)^2}} = \frac{1}{3}$$

故

$$\Delta G^* = \frac{1}{3} A^* s$$

六、

1. 在本征半导体 Si 或 Ge 中加入少量 V A 族的 P 或 As 或 Sb 等元素，所形成的半导体称为 n 型半导体；在本征半导体 Si 或 Ge 中加入少量 III A 族的 B 或 Al 或 Ga 或 In 等元素，所形成的半导体称为 p 型半导体。前者的载流子包括施主电子、本征电子及等量的本征空穴，故其电子浓度高于空穴浓度；后者的载流子包括受主空穴、本征电子及等量的本征空穴，故其空穴浓度高于电子浓度。

2. 室温下处于玻璃态的高分子材料称为塑料，室温下处于高弹态的高分子材料称为橡胶。室温下，塑料的硬度较高，脆性较大，弹性较低；而橡胶的硬度较低，脆性较小，弹性较高。

3. 陶瓷是指以共价键或离子键为主，以具有高硬度高脆性的特殊氧化物、碳化物、氮化物等化合物为主要组成相的一类材料。由于这些化合物中的结合键以共价键或离子键为主，键合力很强，故陶瓷材料的熔点高，硬度高，抗氧化、耐腐蚀，高温强度高；但由于烧结后陶瓷材料中存在气孔或微裂纹，故陶瓷材料的脆性大，强度低。

4. 合金在较快冷却速度下结晶时，固液界面前沿液体中的成分分布不均匀，造成液体的理论结晶温度存在正的梯度，使靠近固液界面部分液体的实际温度低

于理论结晶温度而处于过冷状态，这种过冷称为成分过冷。在成分过冷临界条件表达式 $\frac{G}{R} = \frac{-mC_0(1-k_0)}{Dk_0}$ 中， $\frac{-mC_0(1-k_0)}{k_0} = \Delta T_f$ ， ΔT_f 为合金的结晶温度间隔，即相图中该成分合金的液相点与固相点之间的垂直距离。在其他条件相同的情况下，合金的 ΔT_f 越小，其成分过冷的倾向也越小。成分过冷倾向越小的合金，其固液界面越倾向于平直状，因而液体的流动性越好，结晶后形成的疏松也越少，故合金的铸造性能越好。对于共晶成分的合金，其 $\Delta T_f = 0$ ，故其铸造性能最好。

5. 金属熔液转变为晶态固体的过程称为结晶；经冷塑性变形的金属在某一温度范围加热时，原来被拉长的高位错密度晶粒转变为等轴状的低位错密度晶粒的过程称为再结晶。结晶是相变，而再结晶不是相变。因为结晶的产物与其母相属于不同的相，而再结晶的产物与其母相属于同一种相。两者的驱动力不相同，前者的驱动力是液、固两相的体积自由能差，而后者的驱动力是变形储能，即塑性变形所引起的晶体中位错总弹性应变能。

试 卷 二 十 七

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 4 分, 共 20 分) 解释下列各对名词。

1. 全位错与不全位错
2. 伪共晶与离异共晶
3. 时效强化与低碳钢的应变时效
4. 高分子材料与陶瓷材料
5. 抗磁体与铁磁体

二、(每小题 10 分, 共 20 分) 回答下列问题。

1. 写出图 27-1 所示立方晶胞中 $ABCD$ 面的晶面指数, 以及 AB 、 BC 、 CD 、 DA 各晶向的晶向指数。
2. 写出图 27-2 所示六方晶胞中 $EFGHIJE$ 面的密勒-布拉菲晶面指数, 以及 EF 、 FG 、 GH 、 HI 、 IJ 、 JE 各晶向的密勒-布拉菲晶向指数。

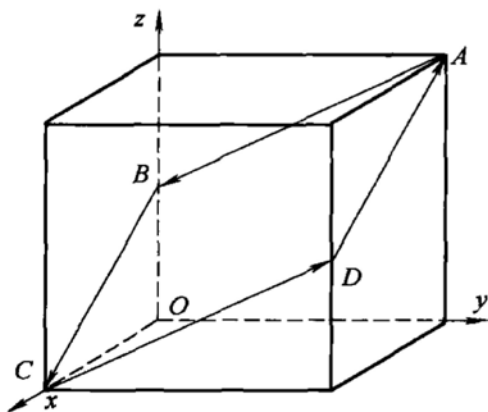


图 27-1 第二题第 1 小题图

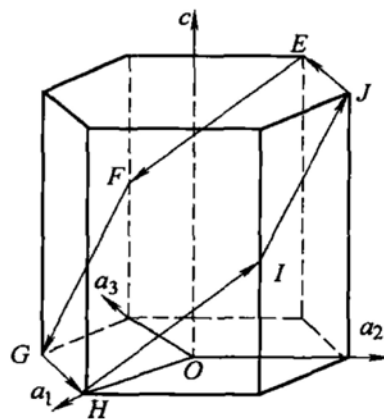


图 27-2 第二题第 2 小题图

三、(共 20 分) 如图 27-3 所示, 四方晶系单晶体中有一矩形位错环 $ABCD$, 其各段分别平行于 x 轴或 y 轴, 其柏氏矢量平行于 x 轴。

1. (4 分) 写出各位错段的位错类型。
2. (2 分) 写出 AD 段与 BC 段单位长度位错线间的相互作用力的大小及方向。

3. (2分) 写出 AB 段与 DC 段单位长度位错线间的相互作用力的大小及方向。
4. (6分) 用应力张量符号表示图中所示的一对切应力 τ ，并写出该切应力作用在各位错段单位长度上的力的大小及方向。
5. (6分) 分析在切应力 τ 持续作用下该位错环在运动中的形状变化及晶体形状的变化。

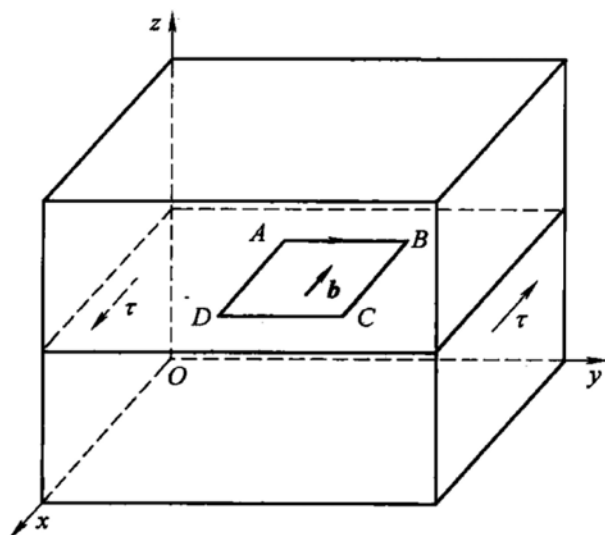


图 27-3 第三题图

四、(共 20 分) 如图 27-4 所示一立方体心立方单晶体，其各棱边皆属 $\langle 100 \rangle$ 晶向族。该晶体在图示一对压应力 σ 的作用下开始发生滑移变形。

1. (8分) 写出该晶体中的初始滑移系。
2. (6分) 设晶体初始滑移系的临界分切应力为 τ_c ，计算晶体该方向的屈服强度。
3. (6分) 在晶体三个可见的表面内示意画出滑移线的走向。

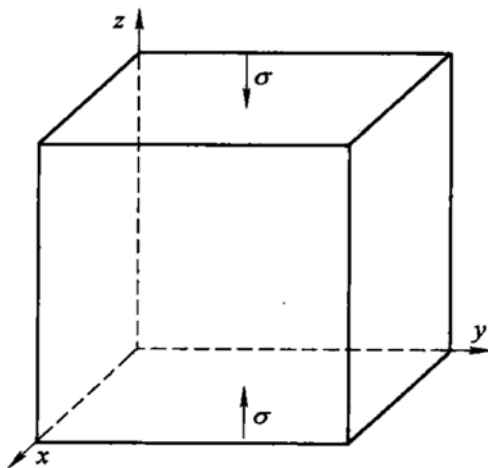


图 27-4 第四题图

五、(共 20 分) 图 27-5 所示为 Cu-Ag-Cd 三元合金系的液相面投影。

1. (4 分) 确定图中 O 合金的熔点及结晶出的初生相。
2. (12 分) 分别写出图中 a 点成分和 b 点成分的液相参与的四相平衡反应的名称、反应温度、反应式。
3. (4 分) 写出该合金系中铸造性能最好的合金的成分 (即各组元的含量)。

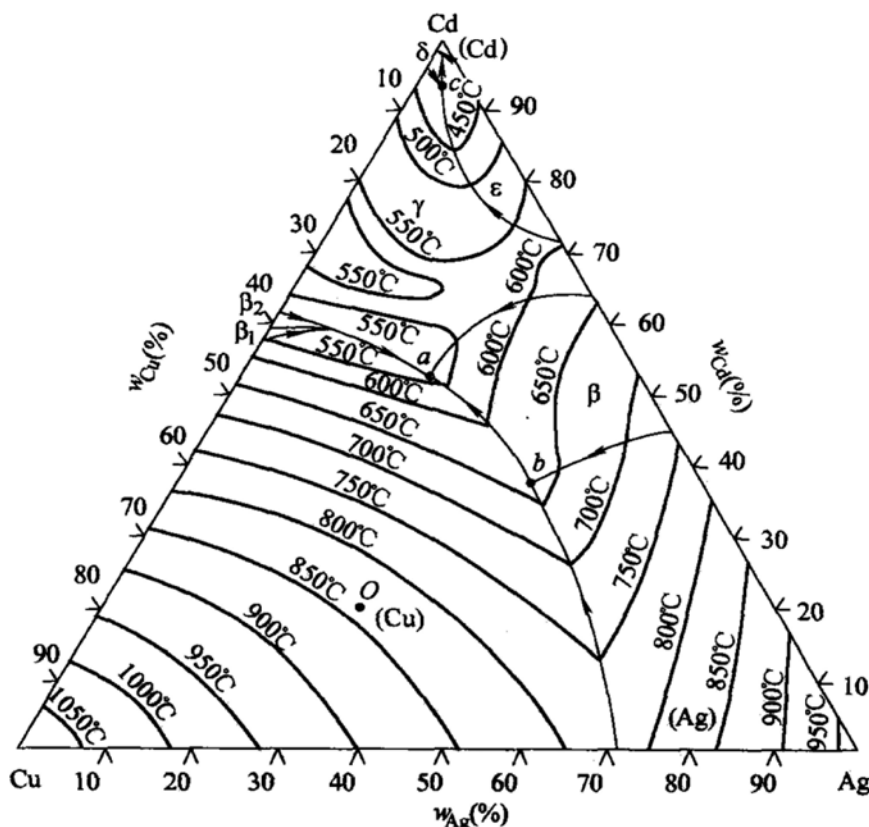


图 27-5 第五题图

六、(共 20 分) 回答下列问题

1. (6 分) 画出 Fe-Fe₃C 相图, 并填写各相区。
2. (10 分) 写出平衡态 T12 钢室温时的相组成物及组织组成物, 并计算各相组成物和组织组成物的质量分数。
3. (4 分) 示意画出平衡态 T12 钢室温时的组织, 指出图中各组织组成物。

七、(每小题 15 分, 共 30 分) 回答下列问题

1. 图 27-6 为 Al-Cu 二元合金相图, 今将含 $w_{Cu} = 2\%$ 的合金棒在固相中无扩散、液相中完全混合、液固界面平面推进的条件下进行不平衡凝固 (忽略成分变化引起的体积变化)。计算凝固始端固相的成分; 确定凝固结束后共晶体占铸锭棒长的体积百分数, 并示意画出合金棒中溶质 (Cu) 浓度分布曲线。

2. 画出示意图说明在正温度梯度下为什么固溶体合金凝固时可以呈树枝方式成长, 而纯金属则得不到树枝状晶。

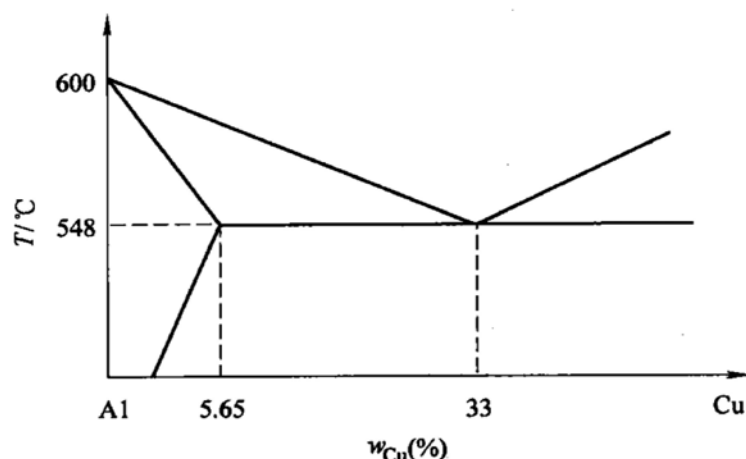


图 27-6 第七题第 1 小题图

标准答案

一、

1. 柏氏矢量等于晶体点阵矢量的位错称为全位错；柏氏矢量不等于晶体点阵矢量的位错称为不全位错。

2. 不平衡凝固过程中所形成的平均成分不等于合金平衡相图中共晶成分的共晶体称为伪共晶；当合金中先共晶体的量很多而共晶体的量很少时，共晶体中与先共晶体相同的相依附于先共晶体生长，而将共晶体中的另一相孤立在先共晶体的晶界处，这种失去了两相混合形貌的共晶体称为离异共晶。

3. 将具有饱和溶解度的固溶体加热到饱和溶解度线以上温度后快冷，得到过饱和固溶体。再将该过饱和固溶体在室温下长时间放置，或在低于饱和溶解度线以下的温度长时间保温，则过饱和固溶体发生脱溶分解，在固溶体晶粒内部析出弥散分布的细小的第二相颗粒，从而使合金的强度明显提高。这种强化称为时效强化。

退火态低碳钢具有屈服降落特性。将退火态低碳钢预拉伸发生少量塑性变形后，若立即再拉伸时，屈服降落现象消失；若将其在室温下放置一较长时间或在低温经过短时加热再进行拉伸，则屈服降落现象又出现，且屈服应力提高。这种现象称为低碳钢的应变时效。

4. 通常将相对分子质量大于 5000 的化合物称为高分子化合物，而以有机高分子化合物为主要组分材料称为高分子材料。

将天然的或人工合成的一些氧化物、碳化物、氮化物等特殊的化合物粉末，通过成形和高温烧结而制成的多晶固体材料称为陶瓷材料。

5. 内部的磁矩能削弱外部磁场的材料称为抗磁体；内部的磁矩能极大地增强外部磁场的材料称为铁磁体。

二、

1. $ABCD$ 面: $(1\bar{1}2)$ AB 晶向: $[0\bar{2}\bar{1}]$ BC 晶向: $[20\bar{1}]$
 CD 晶向: $[021]$ DA 晶向: $[\bar{2}01]$
2. $EFGHIJE$ 面: $(1\bar{1}02)$
 EF 晶向: $[2\bar{4}2\bar{3}]$ FG 晶向: $[4\bar{2}\bar{2}\bar{3}]$ GH 晶向: $[11\bar{2}0]$
 HI 晶向: $[\bar{2}423]$ IJ 晶向: $[\bar{4}223]$ JE 晶向: $[\bar{1}\bar{1}20]$

三、

1. AB : 正刃型位错 BC : 左螺型位错
 CD : 负刃型位错 DA : 右螺型位错

$$2. \frac{Gb^2}{2\pi|AB|}, \text{ 相互吸引。}$$

$$3. \frac{Gb^2}{2\pi(1-\nu)|BC|}, \text{ 相互吸引。}$$

$$4. -\sigma_{yx}$$

AB : 无作用力 BC : τb , $-z$ 方向

CD : 无作用力 DA : τb , z 方向

5. 由于 BC 段受力向下运动, 而 B 、 C 点不动, 故 BC 段在运动而发生弯曲, 成为一个位错增殖源。同时, 由于 DA 段受力向上运动, 而 D 、 A 点不动, 故 DA 段在运动中也发生弯曲, 成为一个位错增殖源, 如图 27-7a 所示。

弯曲的 BC 段和 DA 段位错继续运动时会增殖出位错环, 位错环不断扩大并运动出晶体, 并使其扫过的区域两侧的晶体发生相对位移, 位移的方向和大小与位错柏氏矢量相同, 从而使晶体发生塑性变形, 并在晶体表面形成台阶, 即滑移线, 如图 27-7b 所示。

四、

1. 体心立方晶体共有 12 个可能的滑移系 $\{110\} \langle \bar{1}11 \rangle$ 。根据作用在滑移系上的分切应力 $\tau = \sigma \cos\varphi \cos\lambda$, 施密特因子 $\cos\varphi \cos\lambda$ 最大的滑移系为始滑移系。结果如下:

$$\begin{array}{cccc} (101) [\bar{1}11] & (011) [\bar{1}\bar{1}1] & (0\bar{1}1) [111] & (101) [\bar{1}\bar{1}\bar{1}] \\ (\bar{1}01) [1\bar{1}1] & (0\bar{1}1) [\bar{1}11] & (011) [\bar{1}\bar{1}1] & (\bar{1}01) [111] \end{array}$$

2. 根据施密特定律 $\tau_c = \sigma_s \cos\varphi \cos\lambda$, 计算如下:

$$\sigma_s = \frac{\tau_c}{\cos\varphi \cos\lambda} = \frac{\tau_c}{\frac{(101) \cdot (001)}{\sqrt{2}} \cdot \frac{(111) \cdot (001)}{\sqrt{3}}} = \sqrt{6} \tau_c$$

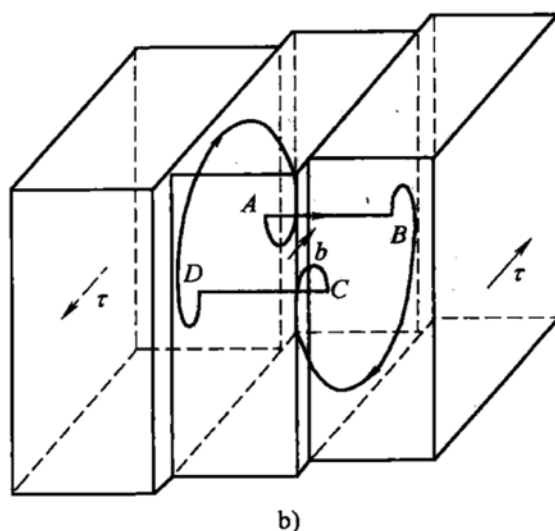
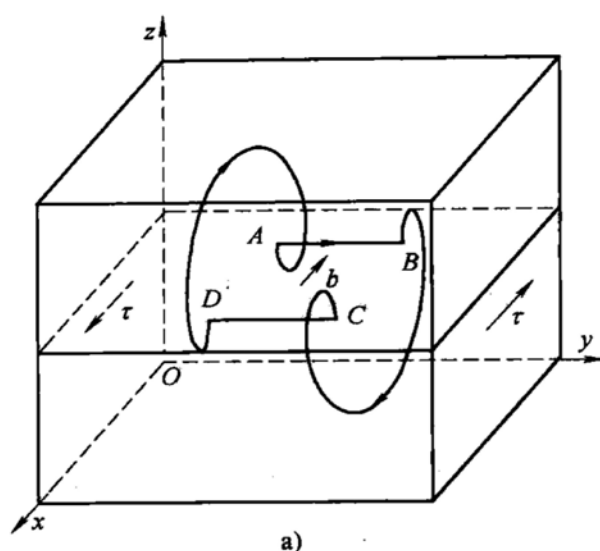


图 27-7 第三题第 5 小题解答图

3. 晶体的滑移面与晶体外表面的交线是可能的滑移线，其中，与晶体的滑移方向不平行的那些交线便是滑移线。结果如图 27-8 所示。

五、

1. 熔点：~840℃； 初生相：(Cu)。

2. a 点：共晶反应

反应温度 ~540℃

反应式 $L \rightarrow (Cu) + \beta + \gamma$

b 点：包共晶反应

反应温度 ~640℃

反应式 $L + (Ag) \rightarrow (Cu) + \beta$

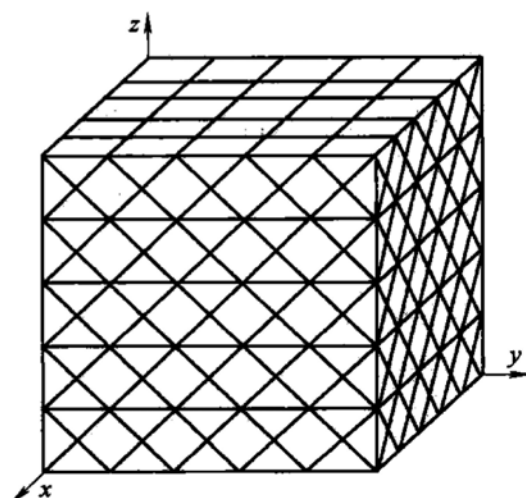


图 27-8 第四题第 3 小题解答图

3. 在有共晶反应的合金系中, 共晶点成分的合金具有最好的铸造性能。该合金系中 a 点为共晶点, 其成分为: 25% Cu-22% Ag-53% Cd。

六、

1. 略。

2. 相组成物: $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ 。

$$w_{\alpha} = \frac{6.69 - 1.2}{6.69 - 0.0008} \times 100\% \approx 82.1\%$$

$$w_{\text{Fe}_3\text{C}} = 1 - w_{\alpha} \approx 17.9\%$$

组织组成物: $\text{P} + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$ 。

$$w_{\text{P}} = \frac{6.69 - 1.2}{6.69 - 0.77} \times 100\% \approx 92.7\%$$

$$w_{\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}} = 1 - w_{\text{P}} \approx 7.3\%$$

3. 如图 27-9 所示。

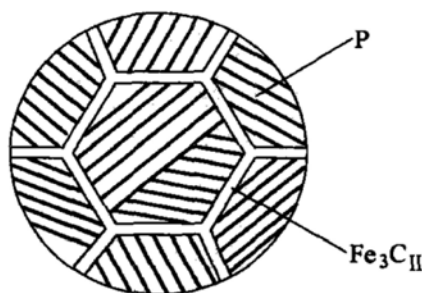


图 27-9 第六题第 3 小题解答图

七、

1. 根据正常凝固方程 $C_s(z) = k_0 C_0 \left(1 - \frac{z}{L}\right)^{k_0 - 1}$

凝固始端固相的成分 $C_s(0) = k_0 C_0 = \frac{5.65\%}{33\%} \times 2\% \approx 0.34\%$

凝固结束后共晶体占铸锭棒长的体积百分数为

$$1 - \frac{z}{L} = \left(\frac{C_s}{k_0 C_0}\right)^{\frac{1}{k_0 - 1}} = \left(\frac{5.65\%}{\frac{5.65\%}{33\%} \times 2\%}\right)^{\frac{1}{\frac{5.65\%}{33\%} - 1}} \approx 3.4\%$$

合金棒中溶质 (Cu) 浓度分布曲线如图 27-10 所示。

2. 只有当固液界面前沿液体中的过冷度随至界面的距离增大而增大时, 界面上的凸起才会向前方的液体中生长, 从而长成树枝状。

如图 27-11a 所示, 纯金属结晶过程中, 液体中的成分处处相同, 其理论结晶温度也处处相同。在正温度梯度下, 仅仅固液界面处的液体处于动态过冷状态, 而界面前沿的温度都高于液体的理论结晶温度。界面上的任何凸起都会由于

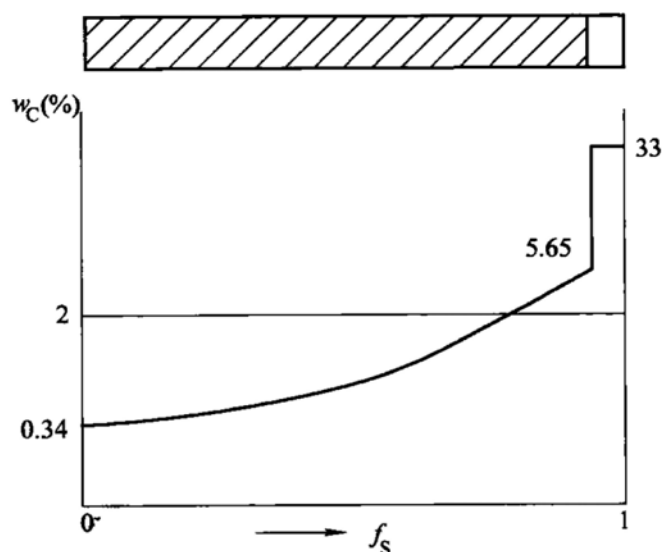
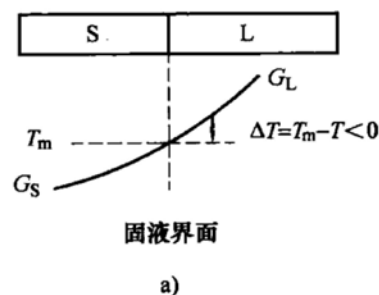


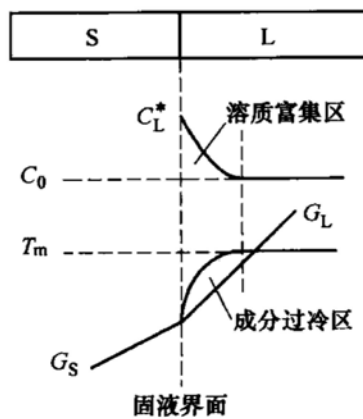
图 27-10 第七题第 1 小题解答图

其温度高于理论结晶温度而熔化，故只能保持平直状界面而不会成为树枝状。

如图 27-11b 所示，固溶体合金不平衡凝固时，溶质要进行再分配，排进固液界面前沿液体中的溶质原子由于冷却速度较快不能充分混合而在界面前沿液体中产生富集，从而导致液体的理论结晶温度随距离增大而升高。这使得界面前沿的部分液体在正温度梯度下处于成分过冷状态，且过冷度随距离增大而增大。故界面上的局部凸起将向过冷度更大的前方液体中伸展，从而形成树枝晶。



a)



b)

图 27-11 第七题第 2 小题解答图