

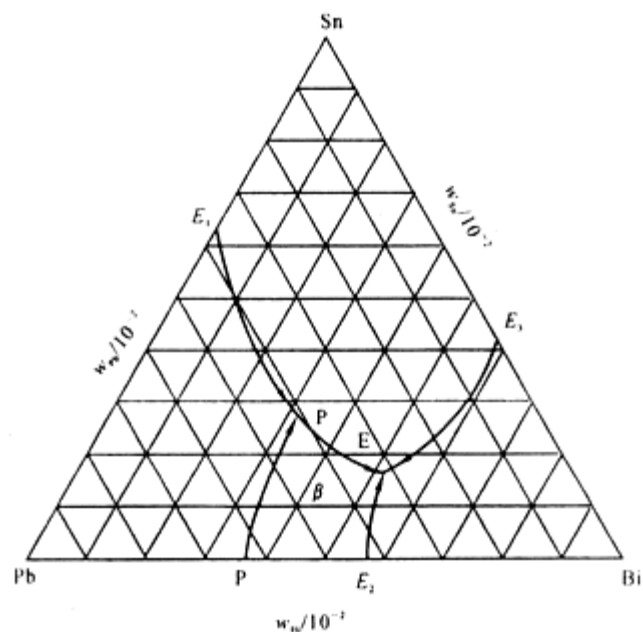
2004 年西北工业大学硕士研究生入学 试题

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 319 K 时发生均匀形核，设临界晶核半径为 1nm ，纯镍熔点为 1726 K ，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）包复一层铜（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：

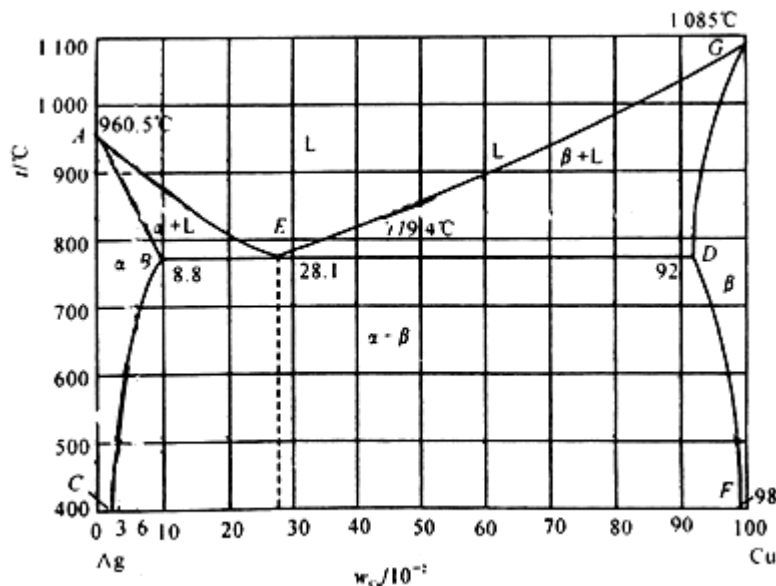
- （1）如果该复合材料受到拉力，何种材料先屈服？
- （2）在不发生塑性变形的情况下，该材料能承受的最大拉伸载荷是多少？
- （3）该复合材料的弹性模量为多少？

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、若有，某一 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固相线均为直线)。



2005 年西北工业大学硕士研究生入学试题

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) 、 $[10\bar{1}]$ 、 $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ 、 $[\bar{1}10]$ 和 (111) 、 $[0\bar{1}1]$, 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；

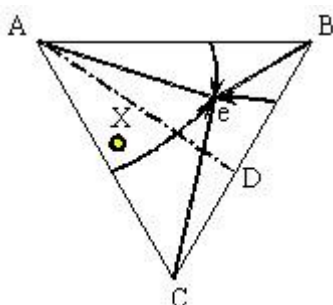
(2) 若滑移位错为纯刃位错，请指出其位错线方向；若滑移位错为纯螺位错，其位错线方向又如何？

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 1 mol 空位所需的能量为 104675 J，气体常数为 8.314 J/mol K）。

5. 已知三元简单共晶的投影图，见附图，

(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。



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。

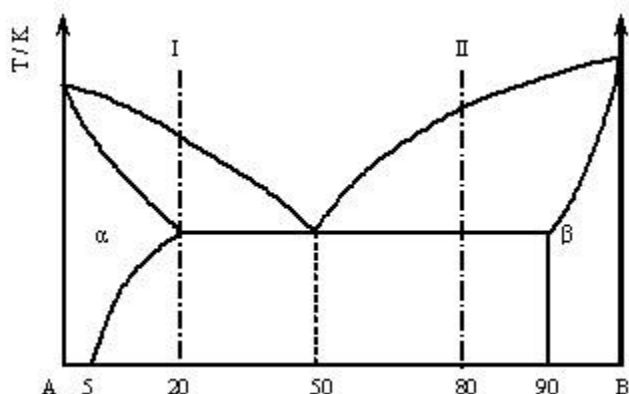
2. 请根据所附二元共晶相图分析解答下列问题：

(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 β 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。



2006 年西北工业大学硕士研究生入学试题

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 $R=8.314 \text{ J/(mol.K)}$ ）
2. 已知某低碳钢 $\sigma_0 = 64 \text{ KPa}$ ， $K=393.7$ ，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。

(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。

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。

2007 年西北工业大学硕士研究生入学试题

一、 简答题 (每题 10 分, 共 50 分)

- 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？

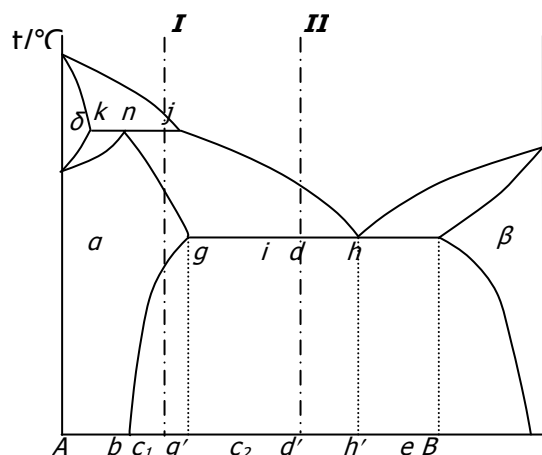
二、 作图计算题（每题 15 分，共 60 分）

1. 已知某晶体在 500°C 时，每 10^{10} 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 $(1\bar{1}1)$ 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 $[3\bar{4}6]$ 晶向。

三、 综合分析题（共 40 分）

1. 如附图所示，请分析：（24 分）
 - 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。



2. 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。（16分）

西北工业大学 2008 年硕士研究生入学考试试题

试题名称：材料科学基础（A 卷）

试题编号：

832

说明：所有答题一律写在答题纸上

第 1 页 共

3 页

一、简答题（每题 10 分，共 60 分）

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、作图计算题（每题 15 分，共 60 分）

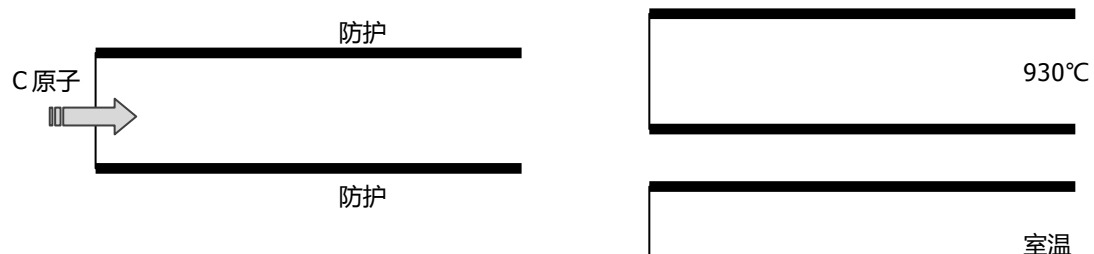
1. 请分别写出 FCC、BCC 和 HCP 晶体的密排面、密排方向，并计算密排面间距和密排方向上原子间距。

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 1 小时，而在 390°C 下完成再结晶需 2 小时，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 。

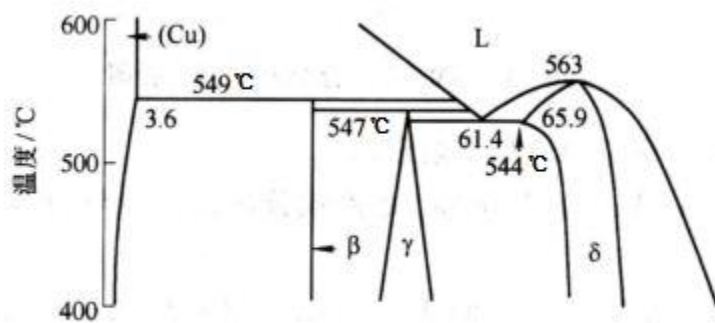
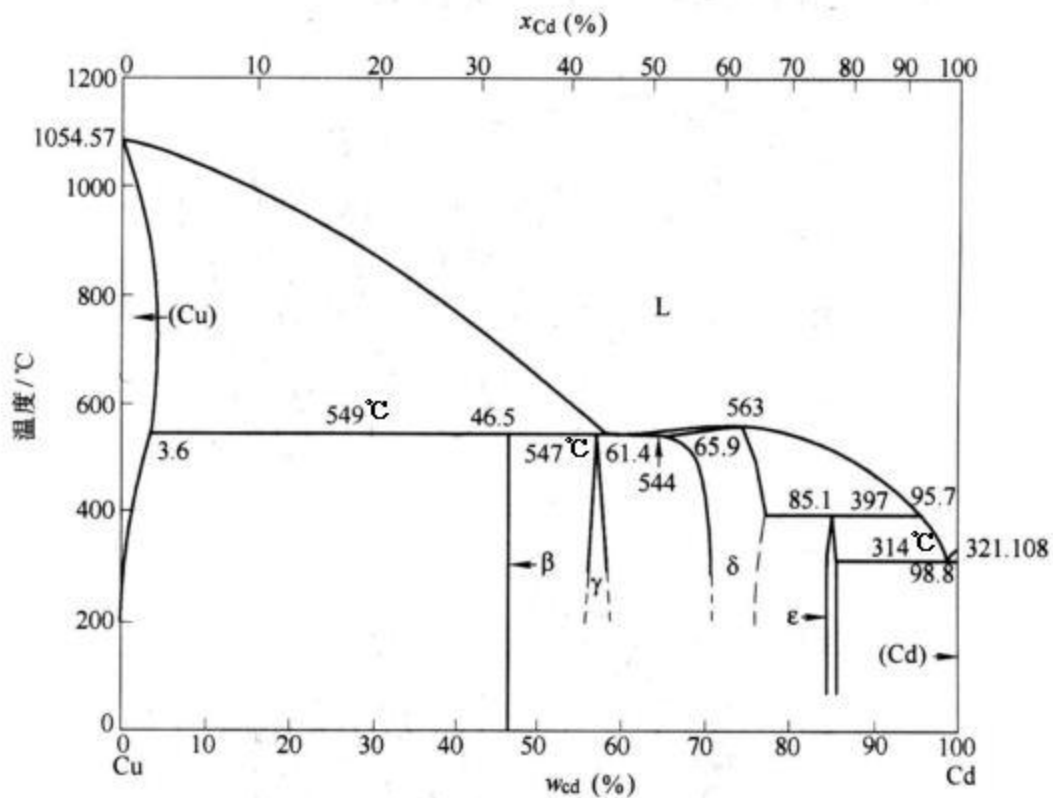
三、综合分析题（30 分）

1. 请根据 Fe-Fe₃C 相图分析回答下列问题：（17 分）

- 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）



2. 图示 Cu-Cd 二元相图全图及其 400°C ~ 600°C 范围的局部放大：（13 分）



Cu-Cd 二元相图的局部放大

- 1) 请根据相图写出 549°C、547°C、544°C、397°C和 314°C五条水平线的三相平衡反应类型及其反应式；
- 2) 已知 β 相成分为 $w_{Cd} = 46.5\%$ ，400°C时 γ 相的成分为 $w_{Cd} = 57\%$ ，请计算 400°C时 $w_{Cd} = 50\%$ 合金的相组成。

西北工业大学 2009 年硕士研究生入学考试试题

1. 简答题（每题 10 分，共 60 分）

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。（请绘表格作答，答案务必写在答题册上）

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				

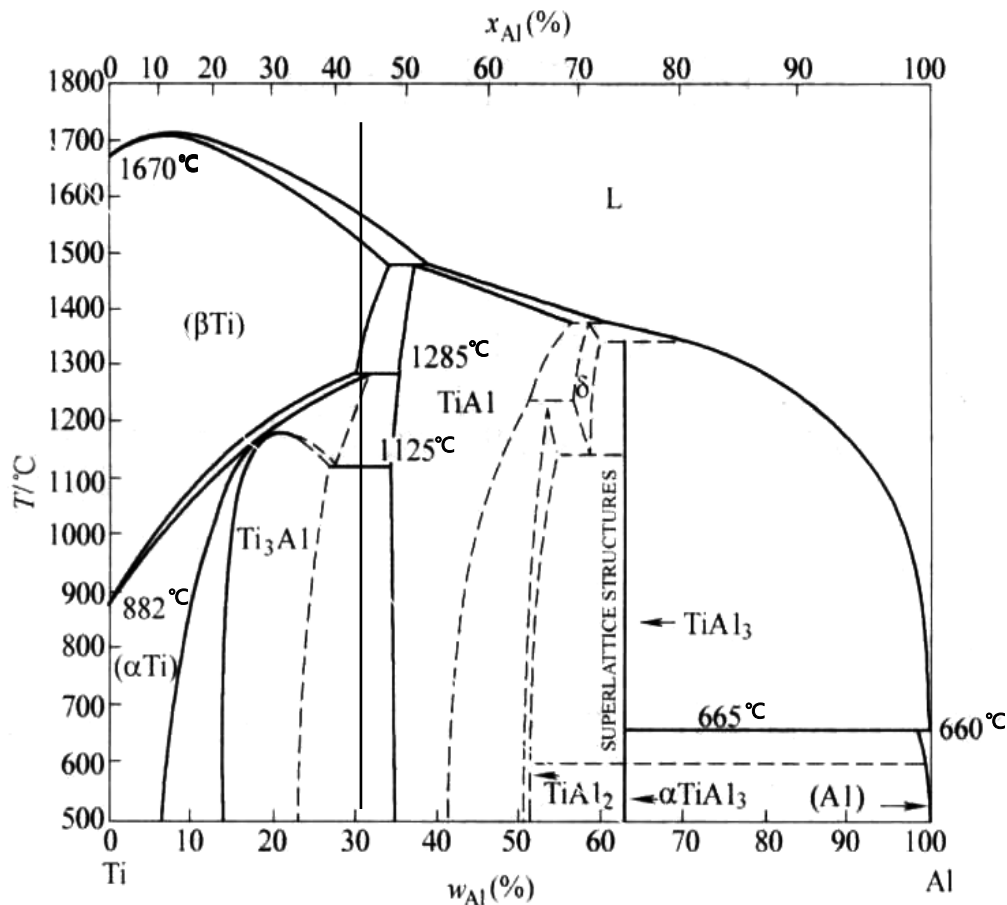
2. 什么是置换固溶体？影响置换固溶体溶解度的因素有哪些？形成无限固溶体的条件是什么？
3. 置换扩散与间隙扩散的扩散系数有何不同？在扩散偶中，如果是间隙扩散，是否会发生柯肯达尔效应？为什么？
4. 在室温下对铁板（其熔点为 1538°C ）和锡板（其熔点为 232°C ），分别进行来回弯折，随着弯折的进行，各会发生什么现象？为什么？
5. 何为固溶强化？请简述其强化机制。
6. 请比较二元共晶转变与包晶转变的异同。

二、作图计算题（每题 10 分，共 40 分）

5. 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。
6. 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。
7. 在 Al 单晶中， (111) 面上有一位错 $b_1 = \frac{a}{2}[10\bar{1}]$ ， $(\bar{1}1\bar{1})$ 面上另一位错 $b_2 = \frac{a}{2}[011]$ 。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。

1) 综合分析题（每题 25 分，共 50 分）

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，并请分析其原



2. 附图 of Ti-Al 二元合金相图：

- 3) 请分析并分别写出 1285°C、1125°C和 665°C三个恒温转变的类型和反应式, 以及 882°C时发生两相恒温转变的类型和反应式。
- 4) 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。
- 5) 请分析 500°C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°C时, $w_{\alpha\text{Ti}} = 27\%$, $w_{\text{Ti3Al}} = 26\%$, $w_{\text{TiAl}} = 35\%$;
500°C时, $w_{\text{Ti3Al}} = 23\%$, $w_{\text{TiAl}} = 35\%$)

2010 年硕士研究生入学考试试题

试题名称: 材料科学基础 (A 卷)

试题编号:

832

说 明: 所有答题一律写在答题纸上

第 1 页 共

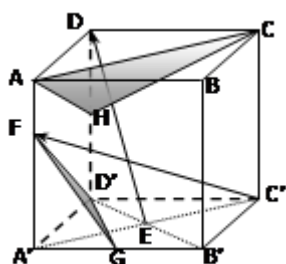
2 页

一、 简答题 (每题 10 分, 共 50 分)

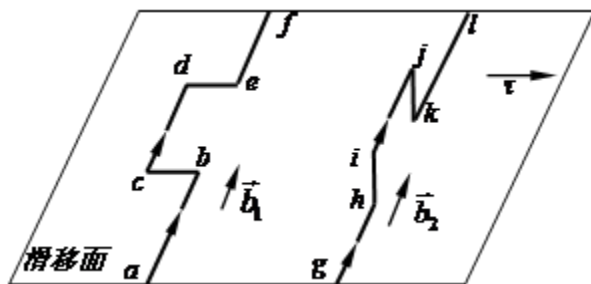
1. 请解释 $\gamma\text{-Fe}$ 与 $\alpha\text{-Fe}$ 溶解碳原子能力差异的原因。
2. 请简述位向差与晶界能的关系, 并解释原因?
3. 请简述在固态条件下, 晶体缺陷、固溶体类型对溶质原子扩散的影响。
4. 请分析、解释在正温度梯度下凝固, 为什么纯金属以平面状生长, 而固溶体合金却往往以树枝状长大?
5. 铁碳合金中可能出现的渗碳体有哪几种? 它们的成分有何不同? 平衡结晶后是什么样的形态?

二、 作图计算题（每题 15 分，共 60 分）

1. 写出附图的简单立方晶体中 ED、C'F 的晶向指数和 ACH、FGD' 的晶面指数，并求 ACH 晶面的晶面间距，以及 FGD' 与 A'B'C'D' 两晶面之间的夹角。（注：G、H 点为二等分点，F 点为三等分点）



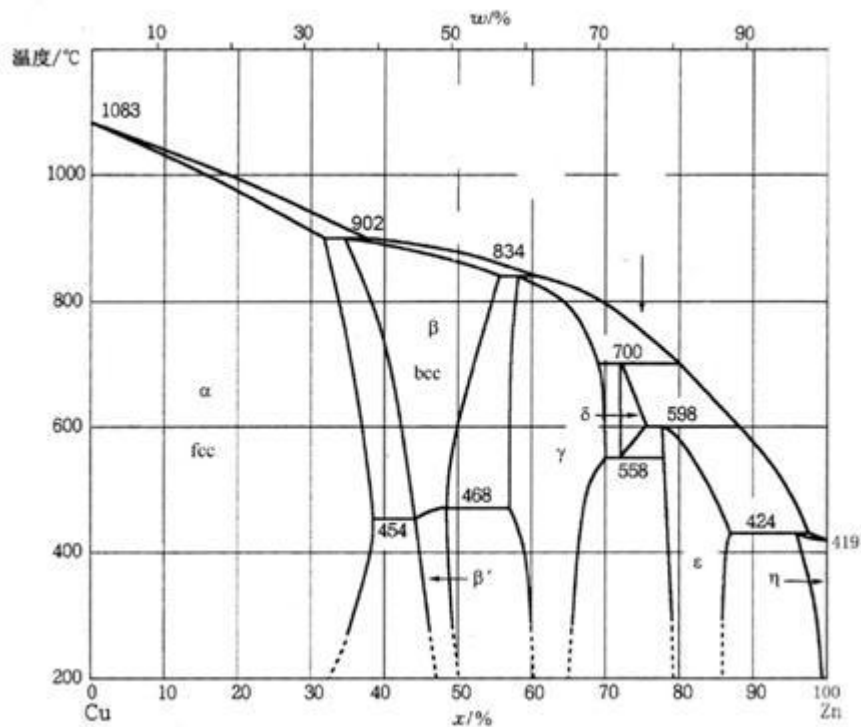
2. 请判断图示中 \vec{b}_1 和 \vec{b}_2 两位错各段的类型，以及两位错所含拐折（bc、de 和 hi、jk）的性质？若图示滑移面为 fcc 晶体的 (111) 面，在切应力 $\vec{\tau}$ 的作用下，两位错将如何运动？（绘图表示）



3. 某合金的再结晶激活能为 250KJ/mol ，该合金在 400°C 完成再结晶需要 1 小时，请问在 390°C 下完成再结晶需要多长时间。（气体常数 $R=8.314\text{J/mol}\cdot\text{K}$ ）
4. 请分别绘出 fcc 和 bcc 晶体中的最短单位位错，并比较二者哪一个引起的畸变较大。

三、综合分析题（共 40 分）

- 1、请分析对工业纯铝、Fe-0.2%C 合金、Al-5%Cu 合金可以采用的强化机制，并阐述机理。（15 分）
- 2、请根据 Cu-Zn 相图回答下列问题：(25 分)
- 1) 若在 500°C 下，将一纯铜试样长期置于锌液中，请绘出扩散后从表面至内部沿深度方向的相分布和对应的浓度分布曲线。
 - 2) 请分析 902°C 、 834°C 、 700°C 、 598°C 、 558°C 各水平线的相变反应类型，及其反应式。
 - 3) 请绘出 Cu-75%Zn 合金的平衡结晶的冷却曲线，并标明各阶段的相变反应或相组成。
 - 4) 请计算 Cu-75%Zn 合金平衡结晶至 200°C 时的相组成含量。



2011 年硕士研究生入学考试试题

试题名称：材料科学基础 (A 卷)

试题编号：

832

说明：所有答题一律写在答题纸上

第 1 页 共 2

页

一、简答题 (每题 10 分, 共 50 分)

1. 请从原子排列、弹性应力场、滑移性质、柏氏矢量等方面对比刃位错、螺位错的主要特征。
2. 何谓金属材料的加工硬化？如何解决加工硬化对后续冷加工带来的困难？
3. 什么是离异共晶？如何形成的？
4. 形成无限固溶体的条件是什么？简述原因。
5. 两个尺寸相同、形状相同的铜镍合金铸件，一个含 90%Ni，另一个含

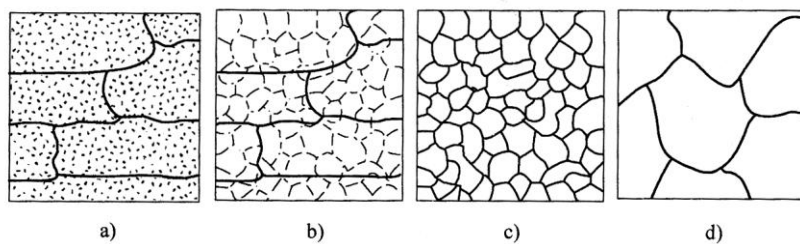
50%Ni，铸造后自然冷却，问哪个铸件的偏析严重？为什么？

二、作图计算题（每题 15 分，共 60 分）

- 1、 写出 $\{112\}$ 晶面族的等价晶面。
- 2、 请判定下列反应能否进行： $\frac{a}{2}[\bar{1}\bar{1}1] + \frac{a}{2}[111] \rightarrow a[001]$
- 3、 已知某晶体在 500°C 时，每 10^{10} 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 $a = 0.0539$ ，波尔兹曼常数 $K = 1.381 \times 10^{-23} \text{ J / K}$ ）
- 4、 单晶铜拉伸，已知拉力轴的方向为 $[001]$ ， $\sigma = 10^6 \text{ Pa}$ ，求 (111) 面上柏氏矢量 $\mathbf{b} = \frac{a}{2}[\bar{1}01]$ 的螺位错线上所受的力（ $a_{\text{Cu}} = 0.36 \text{ nm}$ ）

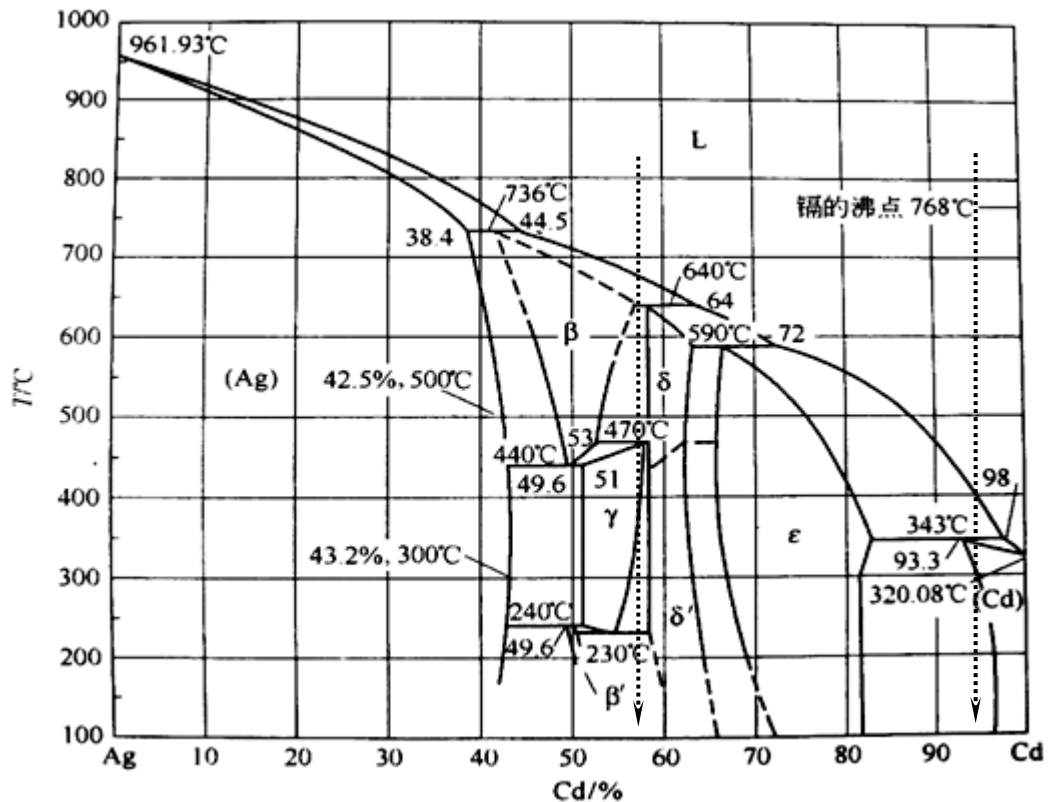
三、综合分析题（共 40 分）

1. 经冷加工的金属微观组织变化如图 a 所示，随温度升高，并在某一温度下保温足够长的时间，会发生图 b-d 的变化，请分析四个阶段微观组织、体系能量和宏观性能变化的机理和原因。



2. 根据 Ag-Cd 二元相图：
 - 1) 当温度为 736°C 、 590°C 、 440°C 和 230°C 时分别会发生什么样的三相平衡反应？写出反应式。
 - 2) 分析 Ag-56%Cd 合金的平衡凝固过程，绘出冷却曲线，标明各阶段的相变反应。
 - 3) 分析 Ag-95%Cd 合金的平衡凝固与较快速冷却时，室温组织会有什

么差别，并讨论其原因。



2004 年西北工业大学硕士研究生入学 试题 参考答案

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？

答：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、请简述影响扩散的主要因素有哪些。

答：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是什么？形成临界晶核的充分条件是什么？

答：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 $\Delta \geq \Delta^*$ （临界形核功）的形核功。

4、有哪些因素影响形成非晶态金属？为什么？

答：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、合金强化途径有哪些？各有什么特点？

答：细晶强化、固溶强化、复相强化、弥散强化（时效强化）加工硬化。

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。

答：设所求的晶面指数为 $(h \ k \ l)$

则
$$h:k:l = \begin{vmatrix} 1 & -1 \\ 0 & -1 \end{vmatrix} : \begin{vmatrix} -1 & 1 \\ -1 & 2 \end{vmatrix} : \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 2 & 0 \end{vmatrix} = (112)$$

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 $r_{Mg^{2+}} = 0.066\text{nm}$ ， $r_{O^{2-}} = 0.140\text{nm}$ ，则其原子堆积密度为多少？

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

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

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

(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、已知液态纯镍在 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ (1 大气压)，过冷度为 319 K 时发生均匀形核，设临界晶核半径为 1nm，纯镍熔点为 1726 K，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。

答：因为 $r = \frac{2\sigma}{\Delta G_B}$ ， $\Delta G_B = \frac{L \cdot \Delta H}{T_m} = \frac{\Delta H \cdot \Delta T}{T_m}$

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

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

4、图示为 Pb-Sn-Bi 相图投影图。问：

(1) 写出合金 Q ($w_{Bi} = 0.7$ ， $w_{Sn} = 0.2$) 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。

答：(1) 冷却至液相面析出 Bi：L → Bi 初，随温度降低 Bi 增多，液相成分沿 Bi-Q 的延长线向 E₃E 移动；
液相成分达到 E₃E 后发生共晶反应，L → (Sn + Bi) 共，液相成分沿 E₃E 向 E 移动；
液相成分达到 E 后，发生三元共晶反应 L → (Sn + Bi + β) 共，随后冷却不再变化。

室温组织为：Bi 初 + (Sn + Bi) 共 + (Sn + Bi + β) 共

(2) $w_{Bi \text{ 初}} = 2.88$ ； $w_{(Sn + Bi) \text{ 共}} = 0.407$ ； $w_{(Sn + Bi + \beta) \text{ 共}} = 0.305$

5、有一钢丝（直径为 1mm）包复一层铜（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？

答；两金属的弹性应变相等，即：

$$(\sigma/E)_{st} = \varepsilon_{st} = \varepsilon_{cu} = (\sigma/E)_{cu}$$

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

- （1）Cu 先屈服；
- （2） $F_{总} = F_{cu} + F_{st} = 140 \times 10^6 \times 2.4 \times 10^{-6} + 280 \times 10^6 \times 0.8 \times 10^{-6} = 560\text{N}$
- （3） $\bar{E} = (\varphi E)_{st} + (\varphi E)_{cu} = 130000\text{MPa}$

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 $a = 0.2\text{nm}$ ）。

答：（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；

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

- 2、若有，某一 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固相线均为直线）。

答：1. 将 1Kg 合金加热至 900°C 以上熔化，缓慢冷却至 850°C，倒去剩余液体，所得固体 a_1 约 780g， $w_{\text{Cu}} = 0.055$ ；

2. 将 a_1 熔化，缓慢冷却至 900°C，倒去剩余液体，得 a_2 约 380g， $w_{\text{Cu}} = 0.03$ ；

3. 将 a_2 熔化，缓慢冷却至 920°C，倒去剩余液体，得 a_3 约 260g， $w_{\text{Cu}} = 0.02$ ；

4. 将 a_3 熔化，缓慢冷却至 935°C，倒去剩余液体，得 a_4 约 180g， $w_{\text{Cu}} = 0.013$ ，即可。

2005 年西北工业大学硕士研究生入学试题 参考答案

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。

答：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？

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

3. 两位错发生交割时产生的扭折和割阶有何区别？

答：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。扭折是指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；割阶是不在原滑移面上的弯折，对位错的滑移有影响。

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？

答：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，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. 请简述回复的机制及其驱动力。

答：低温机制：空位的消失

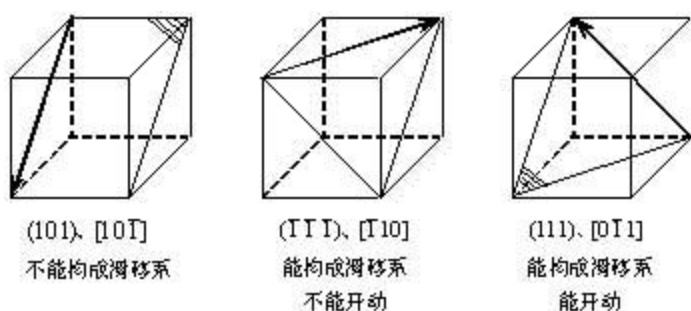
中温机制：对应位错的滑移（重排、消失）

高温机制：对应多边化（位错的滑移 + 攀移）

驱动力：冷变形过程中的存储能（主要是点阵畸变能）

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) 、 $[10\bar{1}]$ 、 $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ 、 $[\bar{1}10]$ 和 (111) 、 $[0\bar{1}1]$ ，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) $\frac{a}{2}[\bar{1}\bar{1}1] + \frac{a}{2}[111] \rightarrow a[001]$

几何条件：

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

能量条件：

$$b_1^2 + b_2^2 = \left(\frac{a}{2}\sqrt{(-1)^2 + (-1)^2 + 1^2}\right)^2 + \left(\frac{a}{2}\sqrt{1^2 + 1^2 + 1^2}\right)^2 = \frac{3}{2}a^2$$

$$b_3^2 = \left(a\sqrt{0^2 + 0^2 + 1^2}\right)^2 = a^2$$

满足能量条件，反应可以进行。

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

几何条件：

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

能量条件：

$$b_1^2 = \left(\frac{a}{2}\sqrt{1^2 + 1^2 + 0^2}\right)^2 = \left(\frac{\sqrt{2}}{2}a\right)^2 = \frac{a^2}{2}$$

$$b_2^2 + b_3^2 = \left(\frac{a}{6}\sqrt{1^2 + 2^2 + (-1)^2}\right)^2 + \left(\frac{a}{6}\sqrt{2^2 + 1^2 + 1^2}\right)^2 = \left(\frac{\sqrt{6}}{6}a\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{6}}{6}a\right)^2 = \frac{a^2}{3}$$

满足能量条件，反应可以进行。

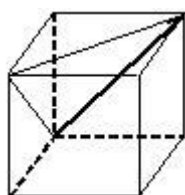
3. 假设某面心立方晶体可以开动的滑移系为 $(11\bar{1})$ 、 $[011]$ ，请回答：

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？

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

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



错的位错线与 b 平行，为 $[011]$ 。

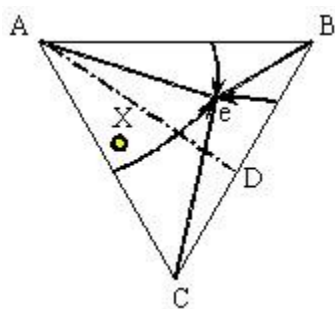
4. 若将一块铁由室温 20°C 加热至 850°C ，然后非常快地冷却到 20°C ，请计算处理前后空位数变化（设铁中形成 1mol 空位所需的能量为 104675 J ）。

答：
$$\frac{c_{850^\circ\text{C}}}{c_{20^\circ\text{C}}} = \frac{Ae^{-\frac{\Delta F}{k(850+273)}}}{Ae^{-\frac{\Delta F}{k(20+273)}}} = e^{-\frac{104675}{1123 \times 8.314} + \frac{104675}{293 \times 8.314}} = 6.23 \times 10^{13}$$

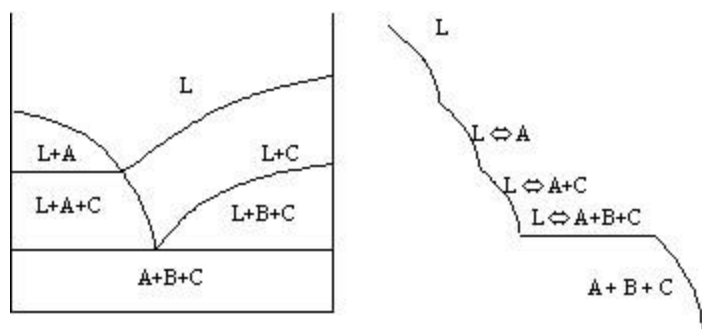
5. 已知三元简单共晶的投影图，见附图，

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。



答：



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。

答：加工硬化：是随变形使位错增殖而导致的硬化；

细晶强化：是由于晶粒减小，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。该强化机制是唯一的
同时增大强度和塑性的机制。

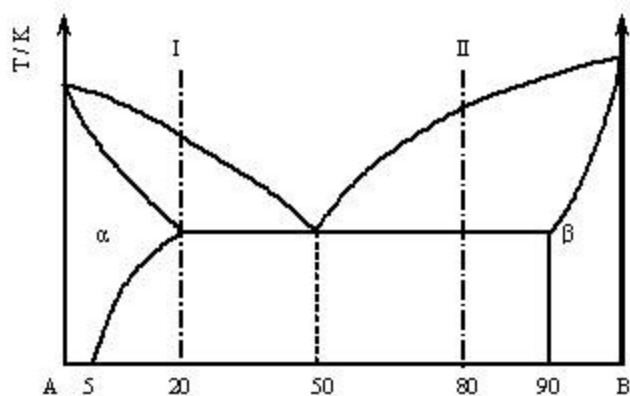
弥散强化：又称时效强化。是由于细小弥散的第二相阻碍位错运动产生的强化。
包括切过机制和绕过机制。

复相强化：由于第二相的相对含量与基体处于同数量级是产生的强化机制。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
基体则不一定能够起到强化作用。

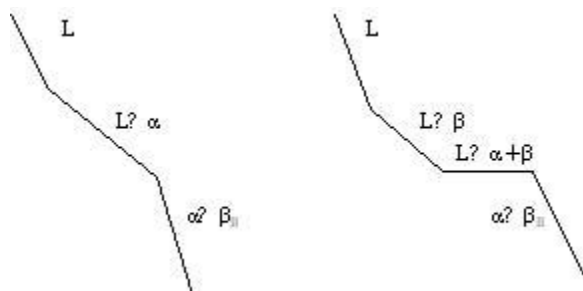
固溶强化：由于溶质原子对位错运动产生阻碍。包括弹性交互作用（柯氏气
团）、电交互作用（铃木气团）和化学交互作用。

2. 请根据所附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) 如果希望得到室温组织为共晶组织和 5% 的 β 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。



答：(1)



(2) I : α 初 + β II

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

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

, 相组成与组织组成比例相同

II : β 初 + (α + β) 共 + β II (忽略)

$$W_{\beta \text{初}} = \frac{0.90 - 0.80}{0.90 - 0.50} \times 100\% = 25\%$$

$$W_{(\alpha + \beta) \text{共}} = W_L = \frac{0.80 - 0.50}{0.90 - 0.50} \times 100\% = 75\%$$

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

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

(3) 设所求合金成分为 x

$$W_{\beta II} = \frac{x - 0.50}{0.90 - 0.50} \times 100\% = 5\%$$

$$x = 0.05 \times (0.90 - 0.50) + 0.50 = 52\%$$

(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 β 初呈树枝状，且数量减少。共晶体组织变细小，相对量增加。

2006 年西北工业大学硕士研究生入学试题 参考答案

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。

答：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. 位错密度有哪几种表征方式？

答：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. 陶瓷晶体相可分为哪两大类？有何共同特点？

答：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. 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？

答：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为何？试比较置换扩散和间隙扩散的激活能的大小。

答：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、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？（ $R = 8.314 \text{ J/(mol.K)}$ ）

答：

$$\begin{aligned} D_{927^\circ\text{C}} &= D_0 \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right) = 2.0 \times 10^{-5} \exp\left(\frac{-1.4 \times 10^5}{8.31 \times (927 + 273)}\right) \\ D_{1027^\circ\text{C}} &= D_0 \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right) = 2.0 \times 10^{-5} \exp\left(\frac{-1.4 \times 10^5}{8.31 \times (1027 + 273)}\right) \\ \frac{D_{1027^\circ\text{C}}}{D_{927^\circ\text{C}}} &= \exp\left(\frac{-1.4 \times 10^5}{8.31 \times (1027 + 273)} - \frac{-1.4 \times 10^5}{8.31 \times (927 + 273)}\right) = \exp\left(\frac{-1.4 \times 10^5}{10808.2} - \frac{-1.4 \times 10^5}{9976.8}\right) \\ &= \exp(-12.953 + 14.033) = \exp(1.08) = 2.94 \end{aligned}$$

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

答：由霍尔 - 配奇公式得：

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

3. 试计算 BCC 晶体最密排面的堆积密度。

答：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) :

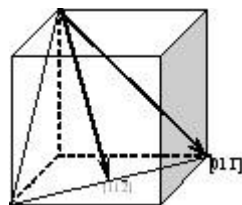
$$A' = 2 \times \pi R^2 = 2\pi \left(\frac{\sqrt{3}}{4} a \right)^2 = \frac{3}{8} \pi a^2$$

堆积密度:
$$d = \frac{A'}{A} = \frac{3}{16} \pi = 0.5888$$

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。



答: (1)

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

$$\frac{W_{01\bar{1}}}{W_{11\bar{2}}} = \frac{|b_{01\bar{1}}|^2}{|b_{11\bar{2}}|^2} = \left(\frac{1/\sqrt{2}}{\sqrt{6}/2} \right)^2 = \frac{1}{3}$$

两位错位于同一滑移面, 因此 G 相同, 故:

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。

答: 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, 活动能量强。

晶界特征:

- 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

- 阻碍位错运动—— $\sigma_b \uparrow$ ——细晶强化
- 位错、空位等缺陷多——晶界扩散速度高
- 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
- 化学稳定性差——晶界容易受腐蚀
- 微量元素、杂质富集

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。

答：

- 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。
- 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。
- 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。
- 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。

2007 年西北工业大学硕士研究生入学试题 参考答案

一、 简答题（每题 10 分，共 50 分）

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。

答：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。

$$\text{Fcc} : \frac{a}{2} \langle 110 \rangle ; \quad \text{bcc} : \frac{a}{2} \langle 111 \rangle ; \quad \text{hcp} : \frac{a}{3} \langle 11\bar{2}0 \rangle$$

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？

答：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、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？

答：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、原子的热运动如何影响扩散？

答：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、如何区分金属的热变形和冷变形？

答：变形温度与再结晶温度的高低关系。高于再结晶温度的为热变形，反之为冷变形。

二、 作图计算题 (每题 15 分 , 共 60 分)

1. 已知某晶体在 500°C 时 , 每 10^{10} 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 $K = 1.381 \times 10^{-23} \text{ J / K}$)

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

$$\Delta E_v = -kT \ln \frac{c}{A} = -[1.381 \times 10^{-23} \times (500 + 273)] \ln \frac{10^{-10}}{0.0539}$$

解： $= 1.068 \times 10^{-20} \times 17.8 = 1.9 \times 10^{-19} \text{ J}$

2. 请计算简单立方晶体中 , (111) 和 $(\bar{1}\bar{1}1)$ 的夹角。

解：
$$\cos \alpha = \frac{h_1 h_2 + k_1 k_2 + l_1 l_2}{\sqrt{h_1^2 + k_1^2 + l_1^2} \sqrt{h_2^2 + k_2^2 + l_2^2}} = \frac{1 - 1 + 1}{\sqrt{3} \sqrt{3}} = \frac{1}{3}$$

$$\alpha = 70^{\circ} 32'$$

3. 请判定在 fcc 中下列位错反应能否进行： $\frac{a}{2} [10\bar{1}] + \frac{a}{6} [\bar{1}21] \rightarrow \frac{a}{3} [11\bar{1}]$

解：几何条件：

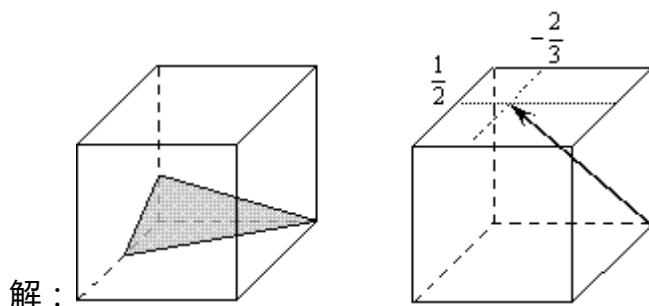
$$b_1 + b_2 = \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{6}\right)a + \frac{2}{6}b + \left(-\frac{1}{2} + \frac{1}{6}\right)c = \frac{1}{3}a + \frac{1}{3}b - \frac{1}{3}c = \frac{a}{3}(11\bar{1}) \quad (6 \text{ 分})$$

能量条件：

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

满足几何条件和能量条件，反应可以进行。（3分）

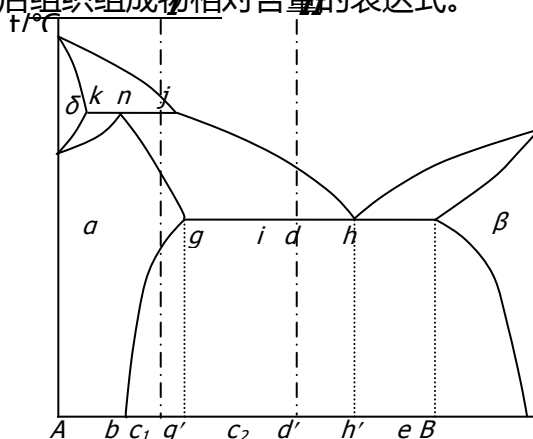
4. 试画出面心立方晶体中的 (123) 晶面和 $[\bar{3}46]$ 晶向



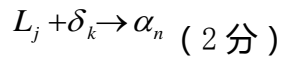
三、 综合分析题（共 40 分）

1. 如附图所示，请分析：（24 分）

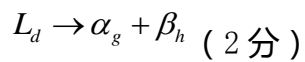
- 1) 两水平线的反应类型，并写出反应式；
- 2) 分析 Ab 、 bg' 、 $g'd'$ 、 d' 、 $d'h'$ 、 $h'e$ 、 eB 七个区域室温下的组织组成物（ j 点成分小于 g 点成分）；
- 3) 分析 I、II 合金的平衡冷却过程，并注明主要的相变反应；
- 4) 写出合金 I 平衡冷却到室温后相组成物相对含量的表达式及合金 II 平衡冷却到室温后组织组成物相对含量的表达式。



解：1) 水平线 kj 为包晶反应：



水平线 gh 为共晶反应：



2) Ab : α (1 分)

bg' : $\alpha + \beta_{II}$ (1 分)

g' d : $\alpha + (\alpha + \beta)_{共} + \beta_{II}$ (1 分)

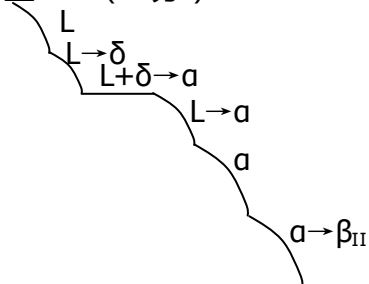
d' : $(\alpha + \beta)_{共}$ (1 分)

d' h' : $\beta + (\alpha + \beta)_{共} + \alpha_{II}$ (1 分)

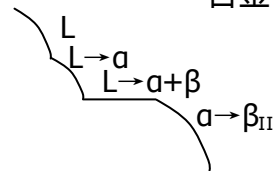
h' e : $\beta + \alpha_{II}$ (1 分)

eB : β (1 分)

3) 合金 I (5 分)



合金 II (3 分)



4) 合金 I 相组成： $w_{\alpha} = \frac{ec_1}{be} \times 100\%$ ； $w_{\beta} = \frac{bc_1}{be} \times 100\%$ (2 分)

合金 II 组织组成：

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

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

$$w_{\alpha_{\text{初}}} = \alpha_{\text{初}} \text{共晶前析出量} - \beta_{\text{II}} \text{析出量} = \frac{id}{gd} \times 100\% - w_{\beta_{\text{II}}} \quad (3 \text{ 分})$$

2. 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。(16分)

	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

2008 年西北工业大学硕士研究生入学试题参考答案

一、简答题 (每题 10 分, 共 60 分)

7. 固态下, 无相变的金属, 如果不重熔, 能否细化晶粒? 如何实现?

答: 可以。通过进行适当冷变形, 而后在适当温度再结晶的方法获得细晶 (应主意避开临界变形度和避免异常长大)。或进行热加工, 使之发生动态再结晶。

8. 固体中有哪些常见的相结构?

答: 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。

9. 何谓平衡结晶？何谓非平衡结晶？

答：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。

10. 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？

答：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。

11. 何为织构？包括哪几类？

答：织构是晶体中晶面、晶向趋于一致现象。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。

12. 什么是成分过冷？如何影响固溶体生长形态？

答：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、作图计算题（每题 15 分，共 60 分）

8. 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。

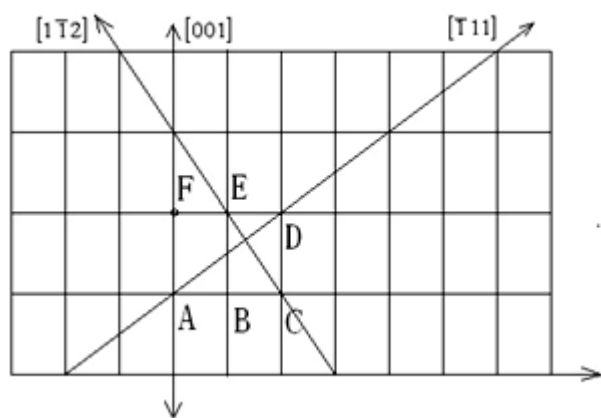
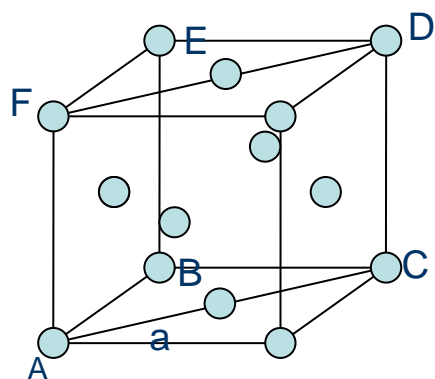
答：

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 }	<110>	$\frac{\sqrt{3}}{3}a$	$\frac{\sqrt{2}}{2}a$
BCC	{110}	<111>	$\frac{\sqrt{2}}{2}a$	$\frac{\sqrt{3}}{2}a$

HCP	$\{0001\}$	$\langle 11\bar{2}0 \rangle$	$\frac{1}{2}c$	a
-----	------------	------------------------------	----------------	---

9. 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。

答：



10. 已知 H70 黄铜在 400°C 时完成再结晶需要 1 小时，而在 390°C 下完成再结晶需 2 小时，请计算在 420°C 下完成再结晶需要多长时间？

答：在两个不同的恒定温度产生相同程度的再结晶时，

$$\frac{t_1}{t_2} = e^{-\frac{Q}{R}(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1})} \quad \frac{t_1}{t_3} = e^{-\frac{Q}{R}(\frac{1}{T_3} - \frac{1}{T_1})}$$

两边取对数，并比之得

$$\ln \frac{t_1}{t_2} = \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} = \frac{1}{400+273} - \frac{1}{390+273}$$

$$\ln \frac{t_1}{t_3} = \frac{1}{T_3} - \frac{1}{T_1} = \frac{1}{400+273} - \frac{1}{420+273}$$

$$t_3 = 0.26 \text{ h}$$

11. 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 。

$$\text{答：} \cos\phi = \frac{[\bar{1}23] \cdot [111]}{|[\bar{1}23]| \cdot |[111]|} = \frac{-1+2+3}{\sqrt{14}\sqrt{3}} = 0.617$$

$$\cos\lambda = \frac{[\bar{1}23][\bar{1}01]}{|[\bar{1}23]| \cdot |[\bar{1}01]|} = \frac{1+0+3}{\sqrt{14}\sqrt{2}} = 0.756$$

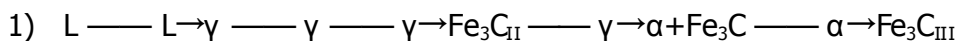
$$\tau = 2 \times 0.617 \times 0.756 = 0.933 \text{ MPa}$$

三、综合分析题（30 分）

3. 请根据 Fe-Fe₃C 相图分析回答下列问题：（17 分）

- 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℃渗碳气氛下长期保温，碳原子仅由棒顶端渗入（如图所示），试分析并标出 930℃ 和 缓冷至室温时的组织分布情况。

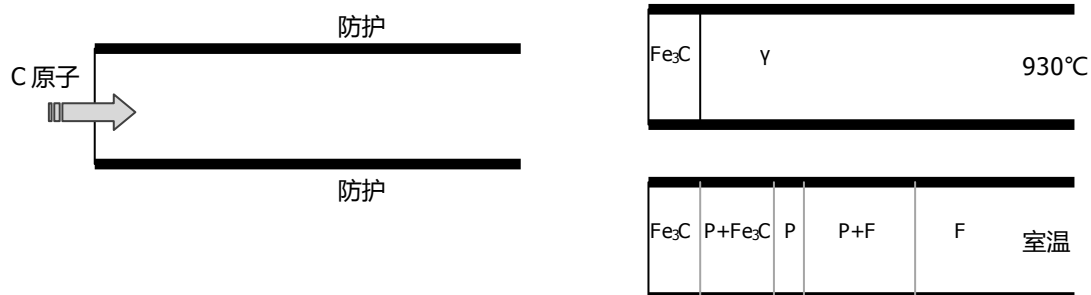
答：



相组成： $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ 组织组成： $\text{P} + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$ （忽略 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{III}}$ ）

- 2) 根据冷速不同，可能出现共晶反应，得到 Ld；得到的 P 层片细小； $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$ 的析出将收到抑制，甚至不析出。

3) 附图如下



4. 图示 Cu-Cd 二元相图全图及其 400°C ~ 600°C 范围的局部放大：(13 分)

6) 请根据相图写出 549°C、547°C、544°C、397°C 和 314°C 五条水平线的三相平衡反应类型及其反应式；

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

答：

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

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

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

397°C：包晶反应， $\delta + \text{L} \rightarrow \epsilon$

314°C：共晶反应， $\text{L} \rightarrow \epsilon + (\text{Cd})$

$$2) \beta\% = \frac{57 - 50}{57 - 46.5} \times 100\% = 66.7\% \quad \text{或} \quad \gamma\% = \frac{50 - 46.5}{57 - 46.5} \times 100\% = 33.3\%$$

2009 年西北工业大学硕士研究生入学试题参考答案

二、简答题 (每题 10 分，共 60 分)

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。（请绘表格作答，答案务必写在答题册上）

答：

b 与 l	τ 与 b	τ 与 l	位错线运动方向
\perp	$//$	\perp	法线
$//$	$//$	$//$	法线
一定角度	$//$	一定角度	法线

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

答：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. 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？

答：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. 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？

答：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，弯曲可不断进行下去

5. 何为固溶强化？请简述其强化机制。

答：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. 请比较二元共晶转变与包晶转变的异同。

答：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，包晶为合成型反应；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、作图计算题（每题 10 分，共 40 分）

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

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

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

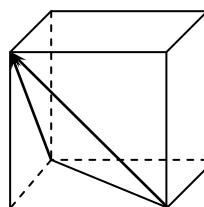
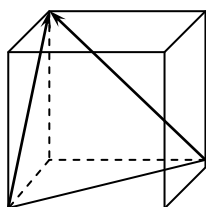
故： b_1 的畸变能较小。

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

答：共 12 个滑移系，其中可能开动的有 8 个。分别是：

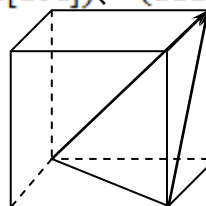
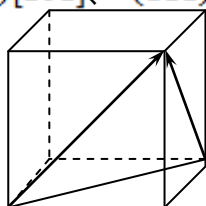
$(111)[0\bar{1}1]$ 、 $(111)[\bar{1}01]$

$(\bar{1}11)[0\bar{1}1]$ 、 $(\bar{1}11)[101]$



$(\bar{1}\bar{1}1)[101]$ 、 $(\bar{1}\bar{1}1)[011]$

$(1\bar{1}1)[\bar{1}01]$ 、 $(1\bar{1}1)[011]$



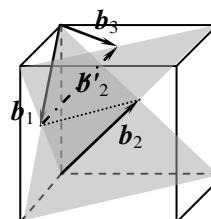
14.在 Al 单晶中， (111) 面上有一位错 $b_1 = \frac{a}{2}[10\bar{1}]$ ， $(11\bar{1})$ 面上另一位错

$b_2 = \frac{a}{2}[011]$ 。若两位错发生反应，请绘出新位错，并判断其性质。

答：新位错为 $b_3 = \frac{a}{2}[110]$ 。

位错线为 (111) 面与 $(11\bar{1})$ 面的交线 $[\bar{1}10]$ 。

两者垂直，因此是刃型位错。



4. 请分别写出立方晶系中{110}和{100}晶面族包括的晶面。

答：

{110}: (110)(101)(011)($\bar{1}10$)($\bar{1}01$)($0\bar{1}1$)

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

4) 综合分析题 (每题 25 分, 共 50 分)

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, 并请分析其原因。

	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)	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	即可能提高驱动力, 同时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. 附图为 Ti-Al 二元合金相图：

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

9) 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。

10) 请分析 500°C 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°C 时， $w_{\alpha\text{Ti}} = 27\%$ ， $w_{\text{Ti}_3\text{Al}} = 26\%$ ， $w_{\text{TiAl}} = 35\%$ ； 500°C 时， $w_{\text{Ti}_3\text{Al}} = 23\%$ ， $w_{\text{TiAl}} = 35\%$)

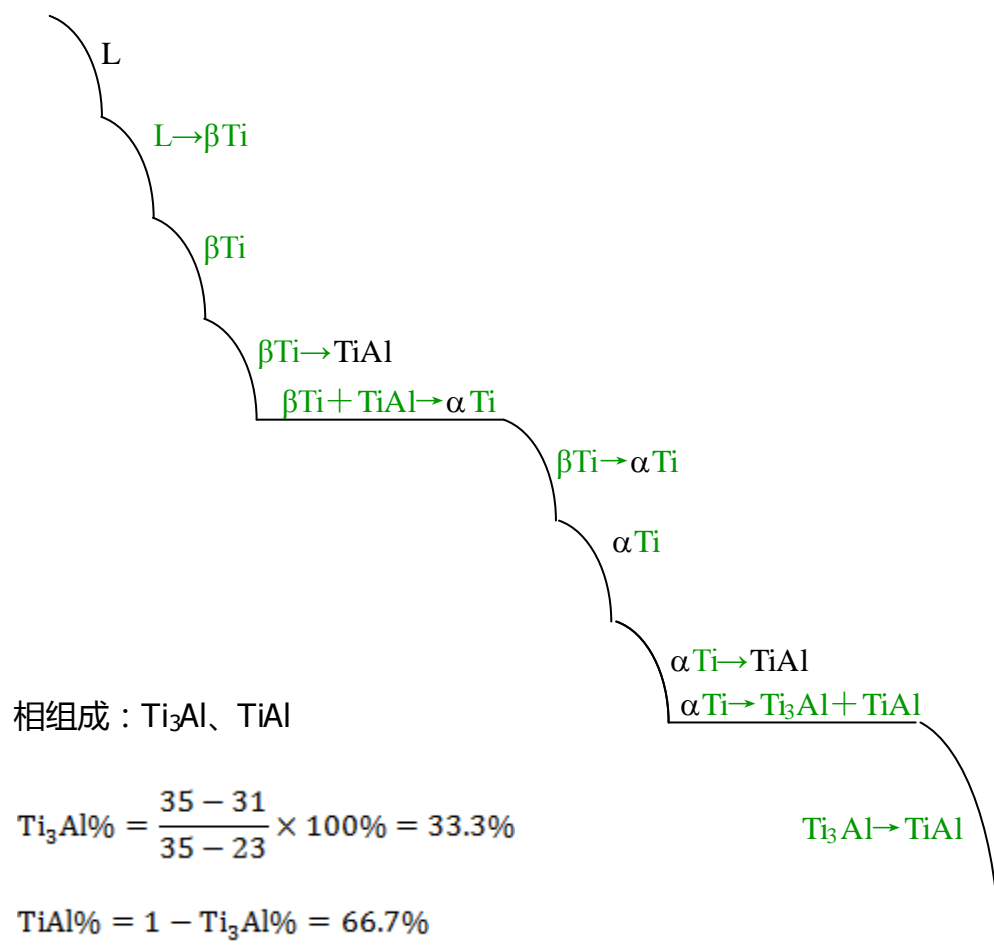
答：

1) 1285°C ：包析反应， $\beta\text{Ti} + \text{TiAl} \rightarrow \alpha\text{Ti}$

1125°C ：共析反应， $\alpha\text{Ti} \rightarrow \text{Ti}_3\text{Al} + \text{TiAl}$

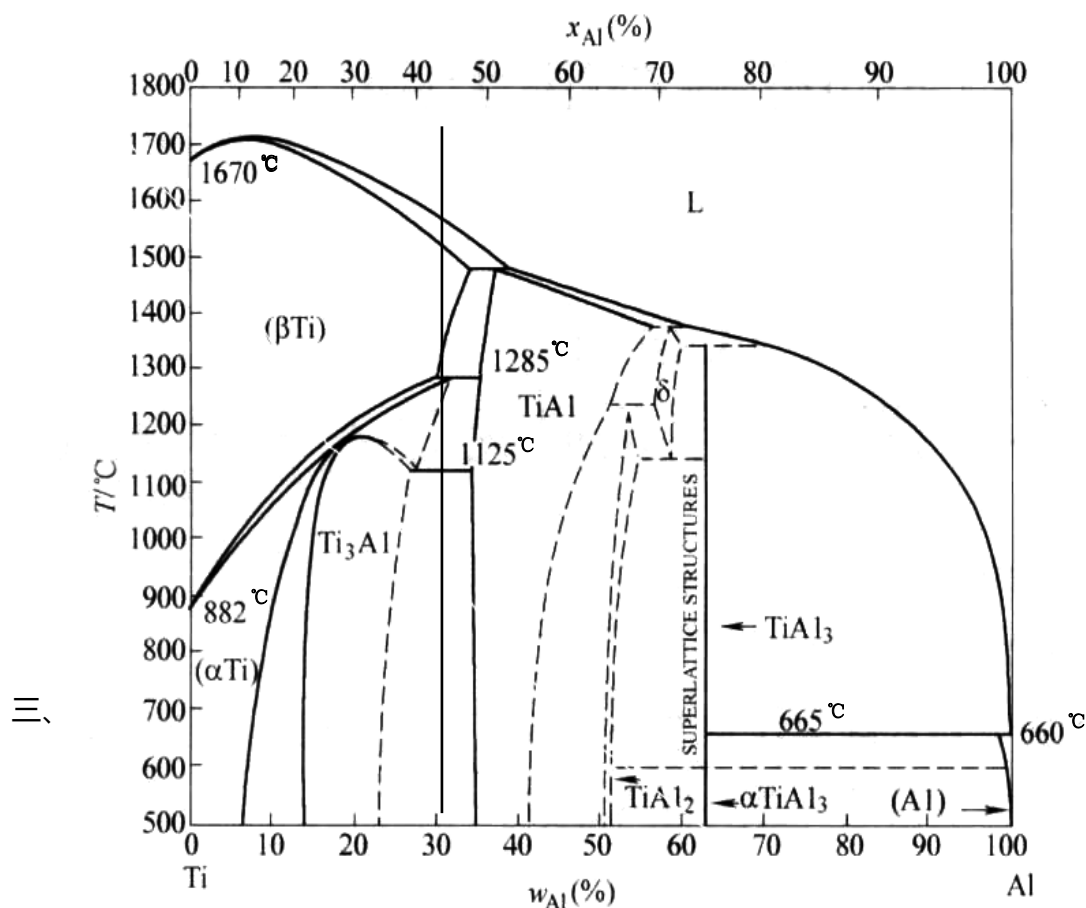
665°C ：包晶反应， $\text{L} + \text{TiAl}_3 \rightarrow \text{Al}$

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



组织组成：TiAl、(Ti₃Al + TiAl) 共

$$\text{TiAl}\% = \frac{31 - 27}{35 - 27} \times 100\% = 50\% \quad (\text{Ti}_3\text{Al} + \text{TiAl})_{\text{共}}\% = 1 - \text{TiAl}\% = 50\%$$



2010 年硕士研究生入学考试试题 参考答案

一、 简答题（每题 10 分，共 50 分）

1. 请解释 γ-Fe 与 α-Fe 溶解碳原子能力差异的原因。

答：α-Fe 为体心立方晶体，其八面体间隙为扁八面体，相比而言四面体间隙较大；γ-Fe 为面心立方，其八面体间隙大。体心立方的四面体间隙比面心立方的八面体间隙小很多，因此溶解小原子的能力小很多。

2. 请简述位向差与晶界能的关系，并解释原因？

答：位向差越大晶界能越高；随位向差增大，晶界能先快速增大，后逐渐趋于稳定。原因：位向差越大，缺陷越多（小角晶界位错密度越大），畸变越严重，因此能量越高。

$$\cos \alpha = \frac{k_1 k_2 + k_1 k_3 + l_1 l_2}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2 + l_1^2} \sqrt{k_2^2 + k_3^2 + l_2^2}} = -\frac{2}{\sqrt{29}}$$

3. 请简述在固态条件下，晶体缺陷、固溶体类型对溶质原子扩散的影响。

答：晶体缺陷处的原子具有较高能量，且原子排列比较杂乱，有利于扩散。间隙原子扩散激活能比置换原子扩散激活能低，因此间隙原子扩散速度高。

4. 请分析解释在正温度梯度下凝固，为什么纯金属以平面状方式生长，而固溶体合金却往往以树枝晶方式长大？

答：正温度梯度下，纯金属的液固界面是等温的，小突起处的过冷度小，生长受到抑制，因此液固界面保持平直，以平面状生长。固溶体合金由于溶质原子再分配，产生成分过冷，液固界面处的小突起将获得更大过冷度，因此以树枝状生长。

5. 铁碳合金中可能出现的渗碳体有哪几种？它们的成分有何不同？平衡结晶后是什么样的形态？

答：一次渗碳体（规则的、粗大条状）、共晶渗碳体（莱氏体的连续基体）、二次渗碳体（沿奥氏体晶界分布，量多时为连续网状，量少时是不连续网状）、共析渗碳体（层片状）、三次渗碳体（铁素体晶界处）。它们成分没有区别。

二、 作图计算题（每题 15 分，共 60 分）

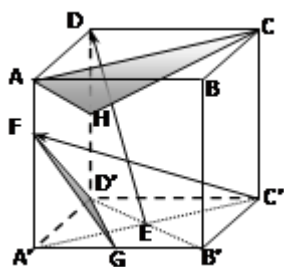
1. 写出附图的简单立方晶体中 ED、C'F 的晶向指数和 ACH、FGD' 的晶面指数，并求 ACH 晶面的晶面间距，以及 FGD' 与 ABCD 两晶面之间的夹角。（注：G、H 点为二等分点，F 点为三等分点）

答：ED： $[\bar{1}\bar{1}2]$ ，C'F： $[3\bar{3}2]$

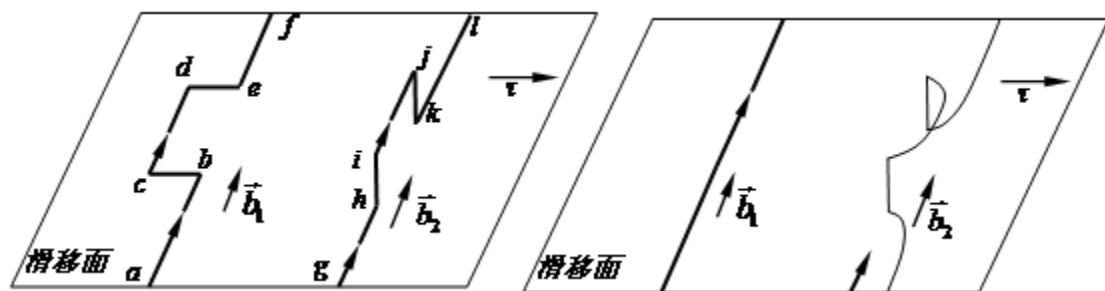
ACH： $(11\bar{2})$ ，FGd： $(\bar{2}43)$

ACH 的晶面间距：
$$d = \frac{a}{\sqrt{h^2+k^2+l^2}} = \frac{a}{\sqrt{6}}$$

FGD' 与 ABCD 之间的夹角：



2. 请判断图示中 $\vec{b_1}$ 和 $\vec{b_2}$ 两位错各段的类型，以及两位错所含拐折（bc、de和hi、jk）的性质？若图示滑移面为 fcc 晶体的（111）面，在切应力 $\vec{\tau}$ 的作用下，两位错将如何运动？（绘图表示）



答：ab：螺位错；bc：刃位错；cd：螺位错；de：刃位错；ef：螺位错

gh：螺位错；hi：刃位错；j：螺位错；jk：刃位错；kl：螺位错

bc、de为扭折，hi、jk为割阶

运动后 $\vec{b_1}$ 恢复为直线， $\vec{b_2}$ 上的 h、i、j、k为固定点，形成位错源

3. 某合金的再结晶激活能为 250KJ/mol，该合金在 400°C完成再结晶需要 1 小时，请问在 390°C下完成再结晶需要多长时间。（气体常数 $R=8.314\text{J/mol}\cdot\text{K}$ ）

答：
$$\frac{t_1}{t_2} = e^{\left[\frac{Q}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \right]} = e^{\left[\frac{2.5 \times 10^5}{8.314} \left(\frac{1}{400+273} - \frac{1}{390+273} \right) \right]} = 0.509$$

所以 $t_2 = 1.96$ 小时

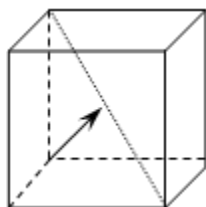
4. 请分别绘出 fcc 和 bcc 晶体中的最短单位位错，并比较二者哪一个引起的畸变较大。

答：BCC 晶体中为： $\mathbf{b}_1 = \frac{a}{2}[111]$ （1分），FCC 晶体中为： $\mathbf{b}_2 = \frac{a}{2}[110]$

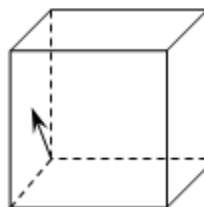
$$|\mathbf{b}_1| = \frac{a}{2}\sqrt{1+1+1} = \frac{\sqrt{3}}{2}a$$

$$|\mathbf{b}_2| = \frac{a}{2}\sqrt{1+1+0} = \frac{\sqrt{2}}{2}a$$

故：FCC 中的 \mathbf{b}_2 引起的畸变较小。



bcc : $\mathbf{b}_1 = \frac{a}{2}[111]$



fcc : $\mathbf{b}_2 = \frac{a}{2}[110]$

三、 综合分析题（共 40 分）

- 1、 请分析对工业纯铝、Fe-0.2%C 合金、Al-5%Cu 合金可以采用的强化机制，并解释机理。（15 分）

答：工业纯铝：细晶强化——利用晶界和位向差对位错运动的阻碍作用进行强化；

加工硬化——利用冷变形后缠结位错之间的相互作用进行强化。

Fe-0.2%C：固溶强化——利用碳原子引起铁的晶格畸变对位错运动的阻碍作用进行强化。

加工硬化——同上

细晶强化——同上

沉淀强化——利用碳化物对位错运动的阻碍作用进行强化。

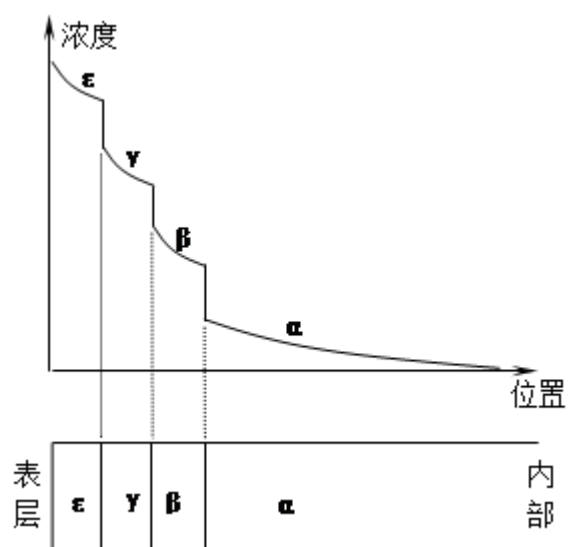
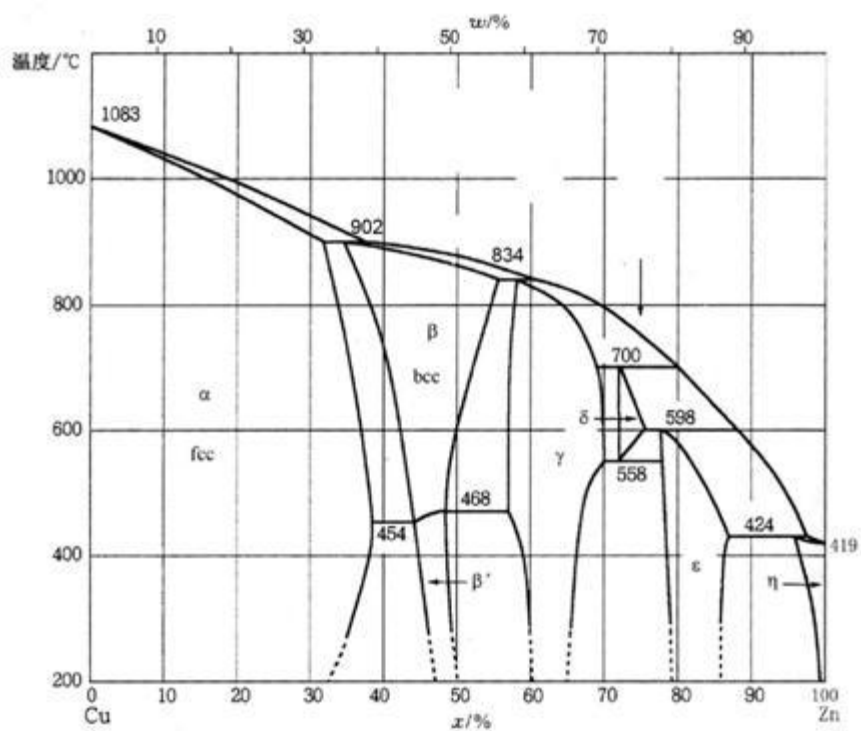
Al-5%Cu：沉淀强化（时效强化）——利用沉淀相对位错运动的阻碍作用进行强化。

加工硬化——同上

细晶强化——同上

2、 请根据 Cu-Zn 相图回答下列问题：(25 分)

- 1) 若在 500°C 下，将一纯铜试样长期置于锌液中，请绘出扩散后从铜棒表面至内部沿深度方向的相分布和对应的浓度分布曲线。
- 2) 请分析 902°C、834°C、700°C、598°C、558°C 的相变反应类型，并写出反应式。
- 3) 请绘出 Cu-75%Zn 合金的平衡结晶的冷却曲线，并标明各阶段的相变反应或相组成。
- 4) 请计算 Cu-75%Zn 合金平衡结晶至 200°C 时的相组成含量。



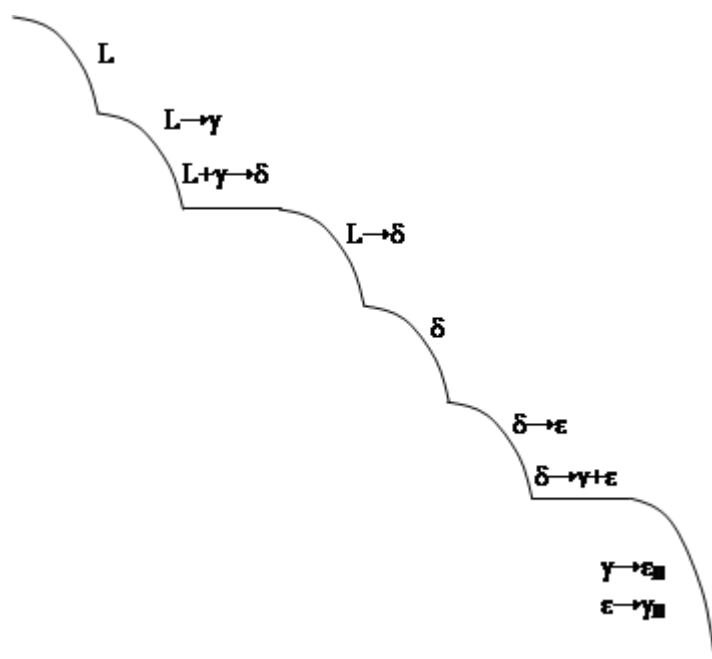
902°C : 包晶—— $L + \alpha \rightarrow \beta$

834°C : 包晶—— $L+\beta\rightarrow\gamma$

700°C : 包晶—— $L+\gamma\rightarrow\delta$

598°C : 包晶—— $L+\delta\rightarrow\varepsilon$

558°C : 共析—— $\delta\rightarrow\gamma+\varepsilon$



$$\varepsilon\% = \frac{75 - 65}{79 - 65} \times 100\% = 71.4\%$$

$$\gamma\% = \frac{79 - 75}{79 - 65} \times 100\% = 28.6\%$$

西北工业大学

2011 年硕士研究生入学考试试题参考答案

四、 简答题（每题 10 分，共 50 分）

6. 请从原子排列、弹性应力场、滑移性质、柏氏矢量等方面对比刃位错、螺位错的主要特征。

答：刃型位错：

- 1) 1 晶体中有一个额外原子面，形如刀刃插入晶体
- 2) 2 刃位错引起的应力场既有正应力又有切应力。
- 3) 3 位错线可以是折线或曲线，但位错线必与滑移（矢量）方向垂直
- 4) 4 滑移面惟一
- 5) 5 位错线的移动方向与晶体滑移方向平行（一致）
- 6) 6 位错线与柏氏矢量垂直

螺型位错：

- 1) 1 上下两层原子发生错排，错排区原子依次连接呈螺旋状
- 2) 2 螺位错应力场为纯切应力场
- 3) 3 螺型位错与晶体滑移方向平行，故位错线一定是直线
- 4) 4 螺型位错的滑移面是不惟一；
- 5) 5 位错线的移动方向与晶体滑移方向相互垂直。

6) 6 位错线与柏氏矢量平行

7. 何谓金属材料的加工硬化？如何解决加工硬化对后续冷加工带来的困难？

答：随变形量增大，强度硬度升高，塑性下降的现象。软化方法是再结晶退火。

8. 什么是离异共晶？如何形成的？

答：在共晶水平线的两个端部附近，由于共晶量少，领先相相依附在初生相上，另一相独立存在于晶界，在组织学上失去共晶体特点，称为离异共晶。有时，也将端部以外附近的合金，在非平衡凝固时得到的少量共晶，称为离异共晶。

9. 形成无限固溶体的条件是什么？简述原因。

答：只有置换固溶体才可能形成无限固溶体。且两组元需具有相同的晶体结构、相近的原子半径、相近的电负性、较低的电价浓度。原因：溶质原子取代了溶剂原子的位置，晶格畸变较小，晶格畸变越小，能量越低。电负性相近不易形成化合物。电子浓度低有利于溶质原子溶入。

10. 两个尺寸相同、形状相同的铜镍合金铸件，一个含 90%Ni，另一个含 50%Ni，铸造后自然冷却，问哪个铸件的偏析严重？为什么？

答：50%Ni 的偏析严重，因为液固相线差别大，说明液固相成分差别大，冷速较快不容易达到成分均匀化。

五、 作图计算题（每题 15 分，共 60 分）

1、 写出{112}晶面族的等价

晶面。

$$\text{答： } \{112\} = (112) + (\bar{1}12) + (1\bar{1}2) + (11\bar{2}) + (121) + (\bar{1}21) \\ + (1\bar{2}1) + (12\bar{1}) + (211) + (\bar{2}11) + (2\bar{1}1) + (21\bar{1})$$

2、 请判定下列反应能否进行： $\frac{a}{2}[\bar{1}\bar{1}1] + \frac{a}{2}[111] \rightarrow a[001]$

答：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：

$$b_1^2 + b_2^2 = \left(\frac{a}{2} \sqrt{(-1)^2 + (-1)^2 + 1^2} \right)^2 + \left(\frac{a}{2} \sqrt{1^2 + 1^2 + 1^2} \right)^2 = \frac{3}{4} a^2 \\ b_3^2 = \left(a \sqrt{0^2 + 0^2 + 1^2} \right)^2 = a^2$$

不满足能量条件，反应不能进行。

3、 已知某晶体在 500°C 时，每 10^{10} 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 $K = 1.381 \times 10^{-23} \text{ J / K}$ ）

答：

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

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

- 4、单晶铜拉伸，已知拉力轴的方向为 $[001]$ ， $\sigma = 10^6 \text{ Pa}$ ，求 (111) 面上柏氏矢量 $\mathbf{b} = \frac{a}{2} [\bar{1}01]$ 的螺位错线上所受的力（ $a_{\text{Cu}} = 0.36 \text{ nm}$ ）

答：外力在 $(111)[\bar{1}01]$ 上的分切应力为：

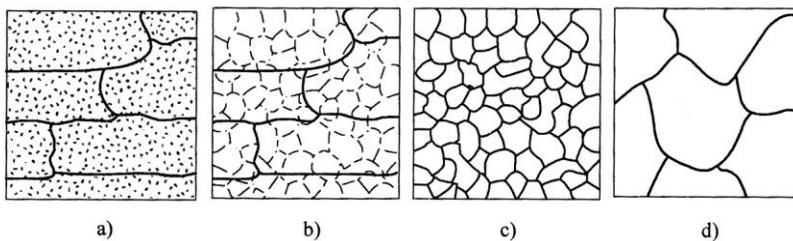
$$\tau = \sigma \cos \phi \cos \lambda = 10^6 \times \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{\sqrt{2}} = 4.0825 \times 10^5 \text{ Pa}$$

作用在位错线上的力为：

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

六、 综合分析题（共 40 分）

3. 经冷加工的金属微观组织变化如图 a 所示，随温度升高，并在某一温度下保温足够长的时间，会发生图 b-d 的变化，请分析四个阶段微观组织、体系能量和宏观性能变化的机理和原因。



答：图 a：晶粒拉长，缺陷数量增大形成位错亚结构，产生变形织构；存储能升高；位错缠结导致加工硬化，强度硬度升高，塑形下降，组织取向明显导致各向异性。

图 b：回复。晶粒基本不变，位错发生滑移、攀移等，位错重排，数量略有减少，空位大量减少。内应力得到消除。加工硬化基本保留。

图 c：再结晶。形成新的无畸变新晶粒。存储能全部释放，变形产生的点阵畸变消除。加工硬化消除，力学性能基本恢复到冷变形前的水平。

图 d：晶粒长大。晶粒粗化。体系能量因界面能的下降而下降。强度下降，塑形也下降。

4. 根据 Ag-Cd 二元相图：

- 1) 当温度为 736°C、590°C、440°C 和 230°C 时分别会发生什么样的三相平衡反应？写出反应式。
- 2) 分析 Ag-56%Cd 合金的平衡凝固过程，绘出冷却曲线，标明各阶段的相变反应。
- 3) 分析 Ag-95%Cd 合金的平衡凝固与较快速冷却时，室温下组织组成会有什么变化，并讨论其原因。

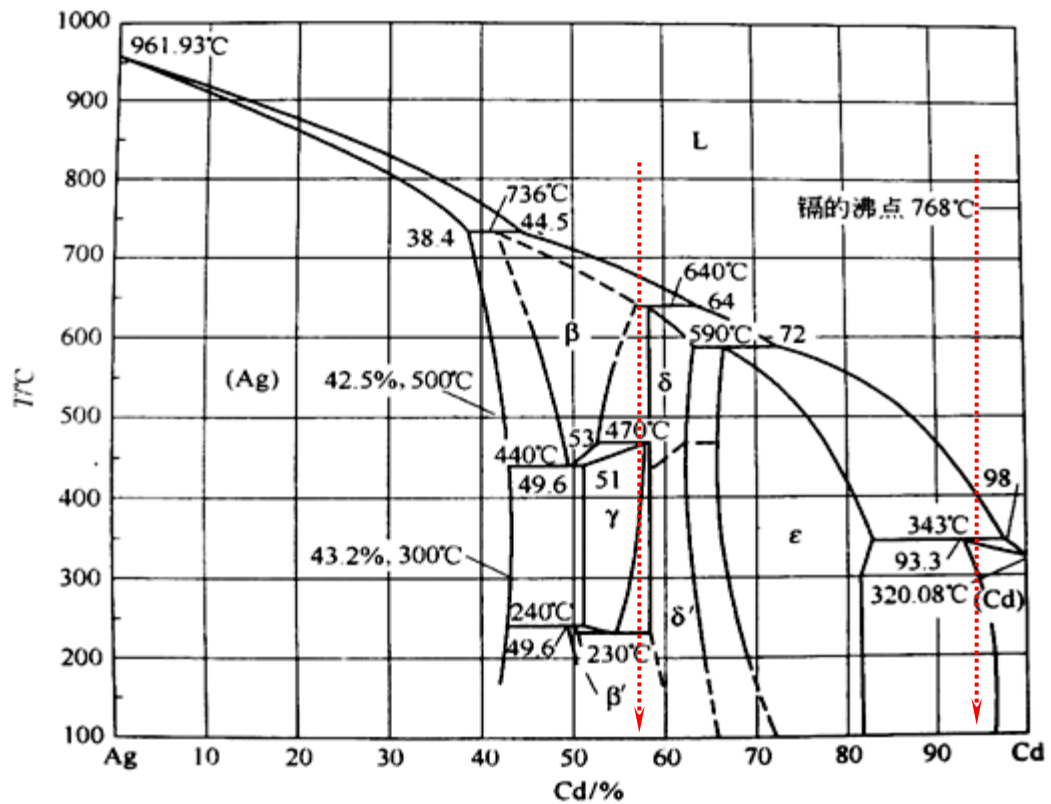
答：

736°C：包晶反应， $L + Ag \rightarrow \beta$

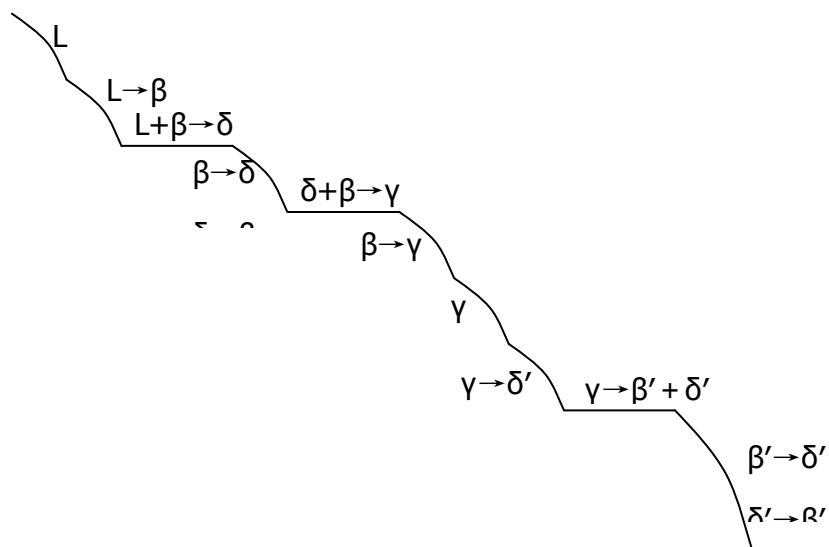
590°C：包晶反应， $L + \delta \rightarrow \epsilon$

440°C : 共析反应 , $\beta \rightarrow \text{Ag} + \gamma$

230°C : 共析反应 , $\gamma \rightarrow \beta' + \delta'$



2 ,



3) Ag-95%Cd 合金的平衡凝固到室温 : Cd 包 + ϵ_{II}

较快速冷却到室温 : ϵ 初 + Cd 包 + ϵ_{II} , 且 ϵ_{II} 相数量相对较少 , 尺寸相对细小。

原因：快速冷却时，由于固态中扩散较慢，使本应该在包晶反应中消失的 ϵ 初有剩余，既产生包晶转变不完全。另外，由于冷速快，使得 ϵ II 相变得细小，析出数量减少。

西北工业大学 2012 年硕士研究生入学考试试题

试题名称：材料科学基础（A 卷）
说 明：所有答题一律写在答题纸上

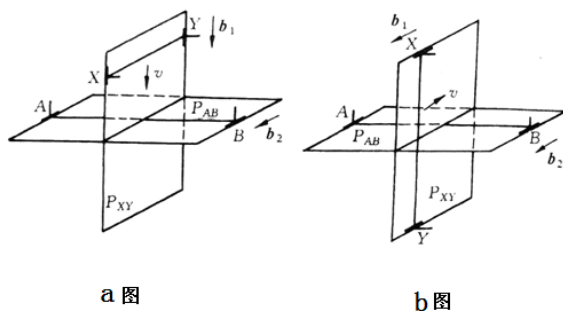
试题编号：832
第 页 共 页

七、 简答题（每题 10 分，共 50 分）

11. 请简述滑移和孪生变形的特点？
12. 什么是上坡扩散？哪些情况下会发生上坡扩散？扩散的驱动力是什么？
13. 在室温下，多数金属材料的塑性比陶瓷材料好很多，为什么？纯铜与纯铁这两种金属材料哪个塑性好？说明原因。
14. 请总结并简要回答二元合金平衡结晶过程中，单相区、双相区和三相区中，相成分的变化规律。
15. 合金产品在进行冷塑性变形时会发生强度、硬度升高的现象，为什么？如果合金需要进行较大的塑性变形才能完成变形成型，需要采用什么中间热处理的方法？而产品使用时又需要保持高的强度、硬度，又应如何热处理？

八、 作图计算题（每题 15 分，共 60 分）

- 1、在 $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$ 相图中有几种类型的渗碳体？分别描述这些渗碳体的形成条件，并绘制出平衡凝固条件下这些不同类型渗碳体的显微组织形貌。
- 2、在两个相互垂直的滑移面上各有一条刃型位错 AB 、 XY ，如图所示。假设以下两种情况中，位错线 XY 在切应力作用下发生运动，运动方向如图中 v 所示，试问交割后两位错线的形状有何变化（画图表示）？在以下两种情况下分别会在每个位错上形成割阶还是扭折？新形成的割阶或扭折属于什么类型的位错？



- 3、已知 H 原子半径 r 为 0.0406nm ，纯铝是 fcc 晶体，其原子半径 R 为 0.143nm ，请问 H 原子溶入 Al 时处于何种间隙位置？
- 4、柱状试样，当固溶体合金 ($k_0 > 1$) 从左向右定向凝固。凝固过程中假设，凝固速度快，固相不扩散、液相基本不混合， α/L (固/液) 界面前沿液体中的实际温度梯度为正温度梯度。由于 α/L 界面前沿液体存在成分过冷区，晶体易以树枝状结晶生长。当合金从左向右定向凝固，达到稳态凝固区时，请分析并画出：① $k_0 > 1$ 相图；② α/L 界面处固体、液体的溶质浓度分布图；③ 液体中成分过冷区图

九、 综合分析题（共 40 分）

- 1、试用位错理论解释低碳钢的应变时效现象。
- 2、如图所示，在立方单晶体中有一个位错环 ABCDA，其柏氏矢量 \mathbf{b} 平行于 z 轴
 - 1) 指出各段位错线是什么类型的位错。
 - 2) 各段位错线在外应力 τ 作用下将如何运动？请绘图表

西北工业大学 2012 年硕士研究生入学考试试题 答案

试题名称：材料科学基础
说明：所有答题一律写在答题纸上

试题编号：832
第 页 共 页

十、 简答题（每题 10 分，共 50 分）

16. 请简述滑移和孪生变形的特点？

答：

滑移变形特点：

- 1) 平移滑动：相对滑动的两部分位向关系不变
- 2) 滑移线与应力轴呈一定角度

- 3) 滑移不均匀性：滑移集中在某些晶面上
- 4) 滑移线先于滑移带出现：由滑移线构成滑移带
- 5) 特定晶面，特定晶向

孪生变形特点：

- 1) 部分晶体发生均匀切变
- 2) 变形与未变形部分呈镜面对称关系，晶体位向发生变化
- 3) 临界切分应力大
- 4) 孪生对塑变贡献小于滑移
- 5) 产生表面浮凸

17. 什么是上坡扩散？哪些情况下会发生上坡扩散？

答：由低浓度处向高浓度处扩散的现象称为上坡扩散。应力场作用、电场磁场作用、晶界内吸附作用和调幅分解反应等情况下可能发生上坡扩散。扩散驱动力来自自由能下降，即化学位降低。

18. 在室温下，一般情况金属材料的塑性比陶瓷材料好很多，为什么？纯铜与纯铁这两种金属材料哪个塑性好？说明原因。

答：金属材料的塑性比陶瓷材料好很多的原因：从键合角度考虑，金属材料主要是金属键合，无方向性，塑性好；陶瓷材料主要是离子键、共价键，共价键有方向性，塑性差。离子键产生的静电作用力，限制了滑移进行，不利于变形。

铜为面心立方结构，铁为体心立方结构，两者滑移系均为 12 个，但面心立方的滑移系分布取向较体心立方匀衡，容易满足临界分切应力。且面心立方滑移面的原子堆积密度比较大，因此滑移阻力较小。因而铜的塑性好于铁。

19. 请总结并简要回答二元合金平衡结晶过程中，单相区、双相区和三相区中，相成分的变化规律。

答：

单相区：相成分为合金平均成分，不随温度变化；

双相区：两相成分分别位于该相区的边界，并随温度沿相区边界变化；

三相区：三相具有确定成分，不随结晶过程变化。

20. 合金产品在进行冷塑性变形时会发生强度、硬度升高的现象，为什么？

如果合金需要进行较大的塑性变形才能完成变形成型，需要采用什么中间热处理的方法？而产品使用时又需要保持高的强度、硬度，又应如何热处理？

答：合金进行冷塑性变形时，位错大量增殖，位错运动发生交割、缠结等，使得位错运动受阻，同时溶质原子、各类界面与位错的交互作用也阻碍

位错的运动。因此发生应变硬化，使强度、硬度升高。

较大的塑性变形产生加工硬化（应变硬化），如果需要进行中间热处理，即再结晶退火，使塑性恢复到变形前的状态，零件可继续进行塑性变形。

如果产品需要保持高的强度、硬度，可在最终热处理时采用去应力退火，去除残余应力，保持零件较高的强度、硬度。

十一、作图计算题（每题 15 分，共 60 分）

- 1、在 Fe-Fe₃C 相图中有几种类型的渗碳体？分别描述这些渗碳体的形成条件，并绘制出平衡凝固条件下这些不同类型渗碳体的显微组织形貌。

答：

渗碳体包括：初生（一次）渗碳体、二次渗碳体、三次渗碳体、共晶渗碳体、共析渗碳体，共五种。

（1）初生（一次）渗碳体：含碳量大于 4.3% 的 Fe-C 合金在平衡凝固时从液相结晶出来的渗碳体，形貌为板条状。

（2）二次渗碳体：含碳量 0.77~2.11% 的 Fe-C 合金，在 1148℃ 冷却到 727℃ 过程中，从 γ 相中脱溶的渗碳体。

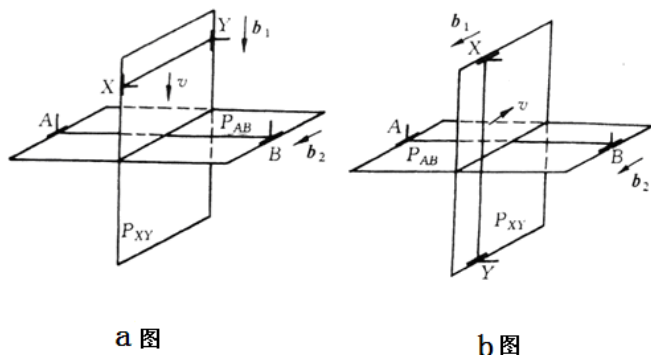
（3）三次渗碳体：含碳量小于 0.0218% 时，低于 727℃，从 α 相脱溶析出的渗碳体。

（4）共晶渗碳体：含碳量 2.11~6.69% 的 Fe-C 合金，在 1148℃ 发生共晶反应时形成的渗碳体。

（5）共析渗碳体：含碳量 0.0218~6.69% 的 Fe-C 合金，在 727℃ 发生共析反应时生成的渗碳体。

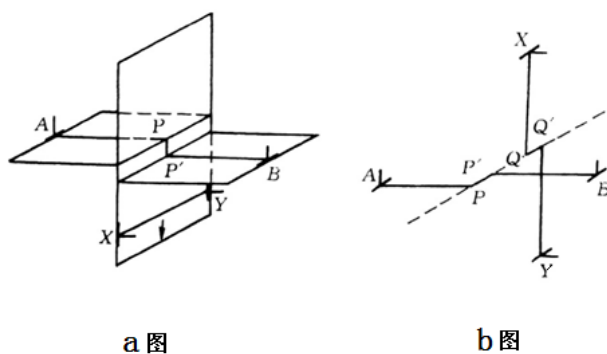
各渗碳体形貌见教材相关部分。

- 2、在两个相互垂直的滑移面上各有一条刃型位错 AB、XY，如图所示。假设以下两种情况中，位错线 XY 在切应力作用下发生运动，运动方向如图中 v 所示，试问交割后两位错线的形状有何变化（画图表示）？在以下两种情况下分别会在每个位错上形成割阶还是扭折？新形成的割阶或扭折属于什么类型的位错？



答：a 图：

- ① XY 向下运动与 AB 交割，产生 PP' 小台阶，宽度为 $|b_1|$
- ② PP' 的柏氏矢量仍为 b_2
- ③ $PP' \perp b_2$ 为刃型位错
- ④ PP' 不在原滑移面上，为割阶
- ⑤ XY 平行于 b_2 ，不形成台阶



b 图：

- ① AB 位错线上出现 PP' 平行于 b_2 ，宽度为 $|b_1|$
- ② PP' 的柏氏矢量仍为 b_2
- ③ $PP' \parallel b_2$ 为螺型位错
- ④ PP' 在原滑移面上，为扭折
- ⑤ XY 位错线上出现 QQ' 平行于 b_1 ，宽度为 $|b_2|$
- ⑥ QQ' 的柏氏矢量仍为 b_1
- ⑦ $QQ' \parallel b_1$ 为螺型位错

⑧ QQ'在原滑移面上，为扭折

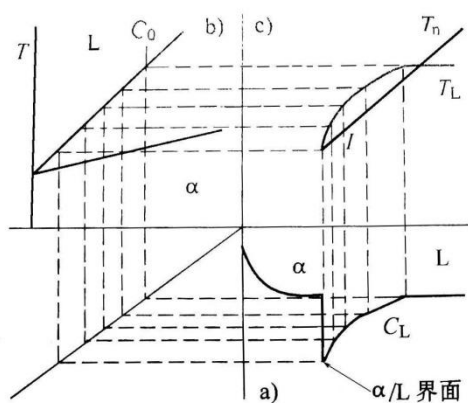
3、已知 H 原子半径 r 为 0.0406nm，纯铝是 fcc 晶体，其原子半径 R 为 0.143nm，请问 H 原子溶入 Al 时处于何种间隙位置？

答：fcc 晶体的八面体间隙 $\frac{r}{R} = 0.414$ ，四面体间隙 $\frac{r}{R} = 0.225$ 。

根据题意知 $\frac{r_H}{R_{Al}} = \frac{0.0406}{0.143} = 0.284$ ，因此 H 原子应处于四面体间隙。

4、柱状试样，当固溶体合金 ($k_0 > 1$) 从左向右定向凝固，凝固过程中假设，凝固速度快，固相不扩散、液相基本不混合， α/L (固/液) 界面前沿液体中的实际温度梯度为正温度梯度。由于 α/L 界面前沿液体存在成分过冷区，晶体易以树枝状结晶生长。当合金从左向右定向凝固，达到稳态凝固区时，请分析并画出：① $k_0 > 1$ 相图；② α/L 界面处固体、液体的溶质浓度分布图；③ 液体中成分过冷区图。

答：柱状试样从左向右定向凝固，在固相不扩散、液相基本不混合、 $k_0 > 1$ 的条件下，在凝固达到稳态凝固区时， α/L 界面前沿液体溶质浓度分布 C_L 如图 a 所示。由于 α/L 界面前沿液体中溶质浓度从左向右逐渐升高（与 $k_0 < 1$ 情况不同），成分与相图对应如图 b。 α/L 界面前沿液体中从左向右熔点逐渐升高（与 $k_0 < 1$ 情况相同）构成 T_L 曲线，加之界面前沿液体中的实际温度梯度为正温度梯度 T_n ，即形成了由 T_L 、 T_n 两曲线组成的成分过冷区见图 c，在凝固过程中晶体易以树枝状结晶生长。



十二、 综合分析题（共 40 分）

1、试用位错理论解释低碳钢的应变时效现象。

答：将退火低碳钢进行少量塑性变形后卸载，然后立即加载，屈服现象不再出现。如果卸载后在室温下放置较长时间或加热到一定温度保温，屈服现象再次出现，而且低碳钢的强度及硬度升高，这种现象称为应变时效或机械时效。

机理：

柯垂尔理论认为，卸载后立即重新加载，位错已经脱钉，因此不再出现屈服现象。放置或加热后再加载，位错被重新钉扎，因此会再次出现屈服现象。

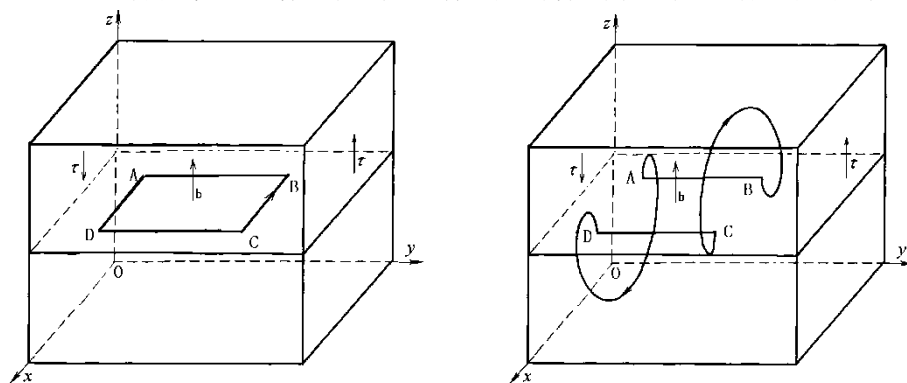
位错增殖理论认为，卸载后立即重新加载，位错已经增殖，因此不再出现屈服现象。放置或加热后再加载，发生了回复，位错发生重排和抵消，因此会再次出现屈服现象。

两种理论均有实验依据，目前一般同时采用两理论解释应变时效的产生原因。

2、如图所示，在立方单晶体中有一个位错环 ABCDA，其柏氏矢量 \mathbf{b} 平行于 z 轴

3) 指出各段位错线是什么类型的位错。

4) 各段位错线在外应力 τ 作用下将如何运动？请绘图表示



答：

1) AB、BC、CD、DA 段都是刃位错

2) AB 和 CD 不动；BC 向上滑移，AD 向下滑移，如图所示。

2013 年西北工业大学材料科学基础（回忆版）

一、简答题

- 1、位错能否在终止于晶体内部？并解释原因
- 2、说明回复与动态回复（可能是结晶与动态再结晶区别，具体忘了）的区别异同？以及在组织与性能方面差异？
- 3、从结合键角度说明，在室温下，多数金属材料的塑韧性比陶瓷材料好很多，为什么？

- 4、 计算一位错的临界分切应力？位错给出了、
- 5、 铜和镍的互偶扩散，标移面向哪侧移动，扩散的意义是什么？

二、画图与计算

- 6、 描述以下结构特征并分别画出形貌组织图
 - 1) 划痕 2) 滑移线 3) 交滑移线 4) 多滑移线 5) 退火孪晶 6) 变形孪晶

- 7、 计算晶格常数为 a 的立方体晶核

分别计算其单位体积自由能和表面能？并说明临界形核功和表面能关系？

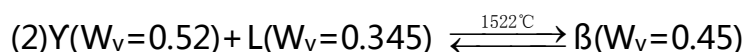
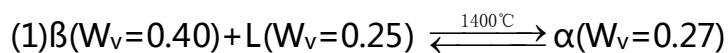
- 8、 立方晶体（100）面有一泊氏矢量为 $b_1=[001]$ 螺型位错，它被另外一位错交割。

以下情况，会形成割阶还是扭折？新形成的位错属于什么类型？能否继续移动？

a. 被（001）的 $b_2=[010]$ 的刃型位错交割

b. 被（001）的 $b_3=[001]$ 的螺型位错交割

- 9、 根据下列数据绘制 Au-V 二元相图。已知金和钒的熔点分别是 1064°C 和 1920°C 。金和钒可以形成中间相 β 相（ AuV_3 ），钒在金中的固溶体为 α ，其在室温的溶解度为 $W_v=0.19$ ，金在钒中的固溶体为 γ ，其在室温的溶解度为 $W_{\text{Au}}=0.25$ 。合金中有两个包晶转变，即



三、解答题

- 10：分析下面相图中，两个不同成分合金在平衡冷却和快速冷却时组织变化，另外还让画出冷却曲线。

相图在（材料科学基础第三版，刘智恩编写，P188，第三题）

11：简述层状共晶合金凝固时，形核、长大的机理