

北京工业大学

试卷七

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、名词解释

1. 脱溶(二次结晶)
2. 空间群
3. 位错交割
4. 成分过冷
5. 奥氏体
6. 临界变形量
7. 形变织构
8. 动态再结晶
9. 调幅分解
10. 惯习面

二、填空

1. 晶体宏观对称要素有 (1)、(2)、(3)、(4) 和 (5)。
2. NaCl 型晶体中 Na^+ 离子填充了全部的 (6) 空隙，CsCl 晶体中 Cs^+ 离子占据的是 (7) 空隙，萤石中 F 离子占据了全部的 (8) 空隙。
3. 非均匀形核模型中晶核与基底平面的接触角 $\theta = \pi/2$ ，表明形核功为均匀形核功的 (9)， $\theta =$ (10) 表明不能促进形核。
4. 晶态固体中扩散的微观机制有 (11)、(12)、(13) 和 (14)。
5. 小角度晶界由位错构成，其中对称倾转晶界由 (15) 位错构成，扭转晶界由 (16) 位错构成。
6. 发生在固体表面的吸附可分为 (17) 和 (18) 两种类型。
7. 固态相变的主要阻力是 (19) 和 (20)。

三、判断正误

1. 对于螺型位错，其柏氏矢量平行于位错线，因此纯螺位错只能是一条直线。
2. 由于 Cr 最外层 s 轨道只有一个电子，所以它属于碱金属。
3. 改变晶向符号产生的晶向与原晶向相反。
4. 非共晶成分的合金在非平衡冷却条件下得到 100% 共晶组织，此共晶组织称伪共晶。
5. 单斜晶系 $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$ 。
6. 扩散的决定因素是浓度梯度，原子总是由浓度高的地方向浓度低的地方扩散。
7. 再结晶完成后，在不同条件下可能发生正常晶粒长大和异常晶粒长大。
8. 根据施密特定律，晶体滑移面平行于拉力轴时最容易产生滑移。
9. 晶粒越细小，晶体强度、硬度越高，塑性、韧性越差。

10. 高聚物材料中, 大分子链上极性部分越多, 极性越强, 材料强度越大。

四、影响晶态固体中原子扩散的因素有哪些?并加以简单说明。

五、

1. 什么是时效处理?

2. 说明通过时效处理产生强化的原因。

3. 实际应用过程中, 为消除时效强化可采用什么处理方法?为什么?

六、

1. 什么是形状记忆效应?

2. 说明通过马氏体相变产生形状记忆效应的原因。

七、比较说明滑移与孪生这两种金属塑性变形机制的不同。

八、已知工业纯铜的屈服强度 $\sigma_s = 70\text{MPa}$, 其晶粒大小为 $N_A = 18$ 个/ mm^2 ; 当 $N_A = 4025$ 个/ mm^2 时, $\sigma_s = 95\text{MPa}$; 试计算 $N_A = 260$ 个/ mm^2 时屈服强度 σ_s 的值。

九、分别画出立方晶胞的 $[\bar{2}11]$ 晶向和 (021) 晶面, 六方晶胞的 $[\bar{1}0\bar{1}0]$ 晶向和 $(\bar{1}212)$ 晶面。

十、氮化镓 GaN 是制备白光二极管的材料, 其晶体结构为纤锌矿 (六方硫化锌) 型。N 的电负性为 3.07, Ga 的电负性为 1.76; N^{3-} 的离子半径为 0.148nm, Ga^{3+} 的离子半径为 0.047nm。

1. 画出这种结构的晶胞。

2. 结构中, 负离子构成哪种堆积?用四轴表示法写出密排晶面。

3. 分析 Ga 和 N 之间的键性, 说明结构中各离子配位数是否合理。

4. 计算结构是否符合静电价规则。

5. Ga 填充的是哪种空隙?填充了多少这种空隙?

十一、氧化钛缺氧时可产生如下反应: $\text{TiO}_2 - \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{Ti}'_{\text{Ti}} + \text{V}_\text{O}''$, 请正确写出缺陷方程并解释各项的含义。

十二、何谓全位错?请说明在面心立方晶体中肖克莱不全位错和弗兰克不全位错的成因和运动特点。

十三、LiF-NaF-RbF 三元相图如图 7-1 所示。

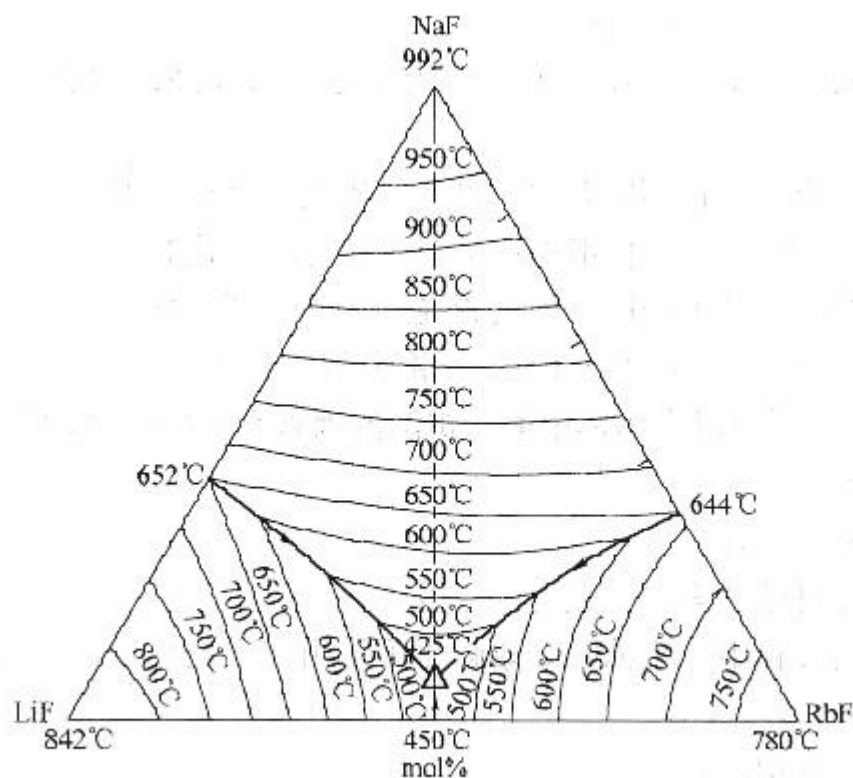


图 7-1 第十三题图

1. 确定含 RbF30mol%、LiF20mol
2. 写出该成分点的析晶过程。
3. 根据此三元相图画出 LiF-NaF 的二元相图示意图。

标准答案

一、

1. 脱溶(二次结晶): 从一个固溶体中析出另一个固相。
2. 空间群: 晶体结构中所有对称要素(含微观对称要素)的组合所构成的对称群。
3. 位错交割: 不同滑移面上运动的位错在运动中相遇发生位错互相切割的现象。
4. 成分过冷: 结晶时由于固相和液相成分再分布而引起的固液界面前方附近液相中产生过冷区, 这一现象称为成分过冷。
5. 奥氏体: 碳溶于 γ -Fe 中的间隙固溶体。
6. 临界变形量: 加热到再结晶温度以上时能使金属材料发生再结晶的最小预变形量。
7. 形变织构: 随塑性变形量增加, 多晶体不同晶粒某一晶体学取向趋于一致的现象。
8. 动态再结晶: 再结晶温度以上变形和再结晶同时进行的现象。
9. 调幅分解: 固溶体通过上坡扩散分解成结构均与母相相同、成分不同的两种固溶体的转变。
10. 惯习面: 固态相变时, 新相往往沿母相特定原子面形成, 这个与新相主平面平行的母相晶面称为惯习面。

二、

1. (1) 对称中心; (2) 对称轴; (3) 对称面; (4) 旋转反伸轴; (5) 旋转反映轴

2. (6) 八面体; (7) 立方体; (8) 四面体

3. (9) 一半; (10) π

4. (11) 间隙机制; (12) 填隙机制; (13) 空位机制; (14) 互换机制

5. (15) 刃型; (16) 螺型

6. (17) 物理吸附; (18) 化学吸附

7. (19) 界面能; (20) 弹性应变能

三、

1. \checkmark ; 2. \times ; 3. \times ; 4. \checkmark ; 5. \checkmark ;

6. \times ; 7. \checkmark ; 8. \times ; 9. \times ; 10. \checkmark

四、

(1) 温度: 温度越高, 扩散系数越大, 扩散速率越快。

(2) 晶体结构及固溶体类型: 致密度较小的晶体结构中扩散激活能较小, 扩散易于进行; 对称性较低的晶体结构, 扩散系数的各向异性显著; 间隙固溶体中的扩散激活能远小于置换固溶体, 扩散容易进行。

(3) 第三组元: 根据加入的第三组元的性质不同, 有的促进扩散, 有的阻碍扩散。

(4) 晶体缺陷: 沿晶界的扩散系数远大于体扩散系数; 沿位错管道扩散时扩散激活能较小, 因而位错加速扩散。

五、

1. 过饱和固溶体的脱溶过程处理为时效处理。

2. 在过饱和固溶体脱溶过程中, 初始形成亚稳态析出相与母相保持共格或半共格界面。如果析出相粒子具有很高的强度, 将使滑移运动位错发生弯曲并包绕第二相粒子留下位错环, 将增加位错线长度, 并且第二相粒子及位错环加大对后续运动位错的阻力, 产生第二相强化。如果析出相粒子可发生变形, 将产生新的相界面, 使析出相与基体相之间共格(或半共格)界面遭到破坏; 滑移面产生错配, 可能使有序排列遭到破坏。综上, 宏观产生强化。

3. 通过时效回归处理或重新固溶处理可以使时效强化现象消失。因为伴随着时效回归处理或重新固溶处理沉淀脱溶产生的第二相重新溶入固溶体之中。当沉淀析出相已经为稳定相时, 只能采用固溶处理。

六、

1. 将某些金属材料进行变形后加热至某一特定温度以上, 变形金属材料形状恢复到变形前的形状, 此现象称形状记忆效应。

2. 根本原因是马氏体转变的无扩散性、共格切变性和可逆转变性。

母相冷却过程中外加应力诱发马氏体相变, 利用马氏体相变伪弹性产生宏观变形。加热过程中, 当加热温度超过马氏体相变逆转变温度时, 伴随热弹性马氏体逆转变, 产生形状恢复, 完成形状记忆过程。

七、

(1) 变形方式不同。滑移过程为晶体一部分相对另一部分的相对滑动, 孪生过程为晶体一部分相对另一部分的均匀切变。

(2) 发生孪生过程的临界切应力远大于滑移所需临界切应力。

(3) 孪生过程改变晶体位相关系。滑移过程不改变晶体位相关系。

(4) 滑移过程可以连续进行而孪生过程不能连续进行。

(5) 滑移过程是塑性变形的机制，当滑移系处于不利于滑移变形发生时，通过孪生可以改变滑移系与外力的取向，使滑移过程进一步发生。

八、晶粒大小与屈服强度之间的关系满足 Hall-Petch 公式，即

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

由等面积圆直径表示晶粒尺寸，即

$$d = (8/3 \pi / N_A)^{1/2}$$

$$d_1 = (8/3 \pi / 18)^{1/2} = 0.22 \text{ mm}$$

$$d_2 = (8/3 \pi / 4025)^{1/2} = 1.45 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$d_3 = (8/3 \pi / 260)^{1/2} = 5.71 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

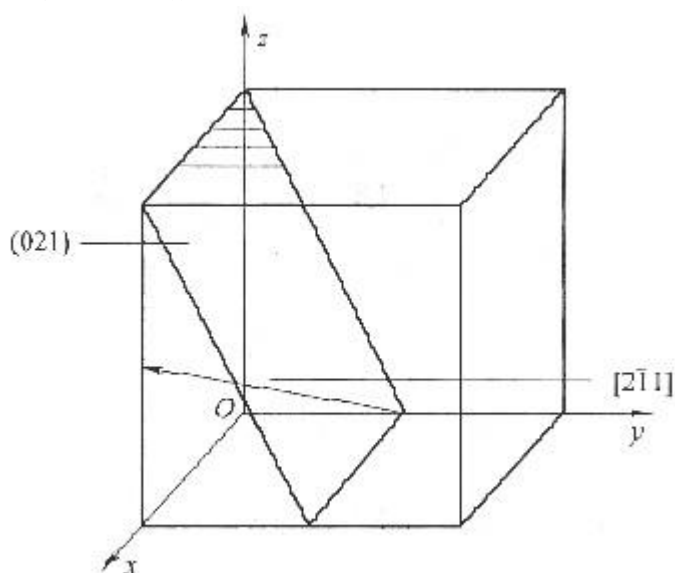
于是 $\sigma_{s1} = \sigma_0 + K d_1^{-1/2}$, $\sigma_{s2} = \sigma_0 + K d_2^{-1/2}$

代入 $\sigma_{s1} = 70 \text{ MPa}$, $\sigma_{s2} = 95 \text{ MPa}$

求出 $K = 0.13 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, $\sigma_0 = 61.3 \text{ MPa}$

故 $\sigma_s = 78.3 \text{ MPa}$

九、如图 7-2 所示。



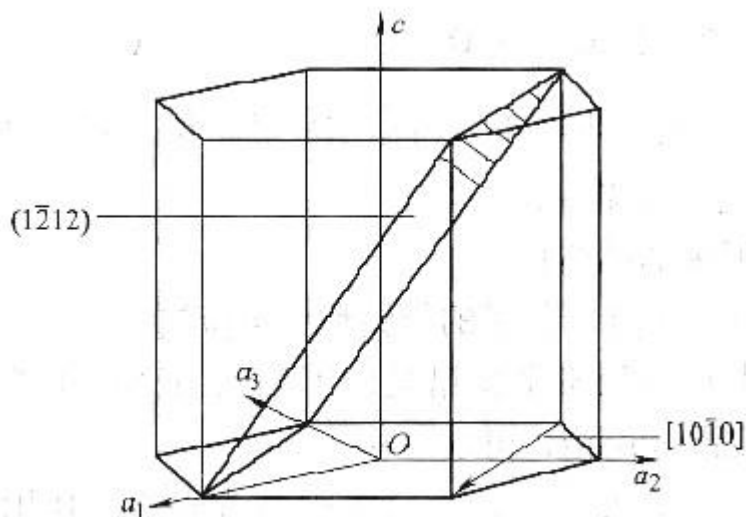


图 7-2 第九题解答图

十、

1. 如图 7-3 所示。

2. 结构中，负离子构成 ABAB 六方堆积，密排晶面为 (0001)。

3. Ga 和 N 之间的键性由电负性差值决定

$\Delta x = 3.07 - 1.76 = 1.31 < 1.7$ ，GaN 为共价键

配位数由正负离子半径比决定

$R^+/R^- = 0.047/0.148 = 0.318$

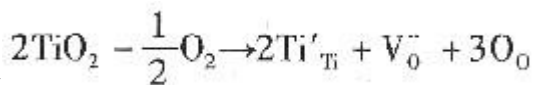
$0.225 < R^+/R^- < 0.414$

$CN(Ga^{3+}) = 4$ ， $CN(N^{3-}) = 4$ ，配位数合理。

$$\sum Z^{3-} = \sum S = 4 \times \frac{3}{4} = 3$$

4. 一个 N^{3-} 与 4 个 Ga^{3+} 相联：，符合静电价规则。

5. Ga 填充的是四面体空隙，填充了负离子空隙的一半。



十一、缺陷方程为

Ti_{Ti}' 二氧化钛失氧，生成 Ti^{3+} 占据 Ti^{4+} 晶格位，有效电荷 -1。

V_O'' ：氧空位，有效电荷 +2。

O_O ：氧仍然占据氧的晶格位。

十二、柏氏矢量等于点阵矢量的位错称为全位错。

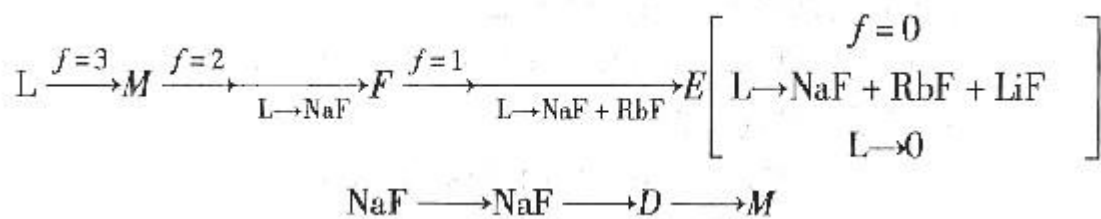
面心立方晶体中肖克莱不全位错是由不均匀滑移产生的，它可以是刃型位错，或螺型位错，或混合位错，可以滑移。

弗兰克不全位错是抽去或插入一层密排面造成的，其柏氏矢量垂直于滑移面，所以，弗兰克不全位错不能滑移，只能攀移。

十三、

1. RbF30mol%、LiF20mol%、NaF50mol% 的物料从高温冷却时初始凝固温度为 750℃，液相全部凝固温度 425℃。

2. 该成分点的析晶过程为



3. 如图 7-4 所示。

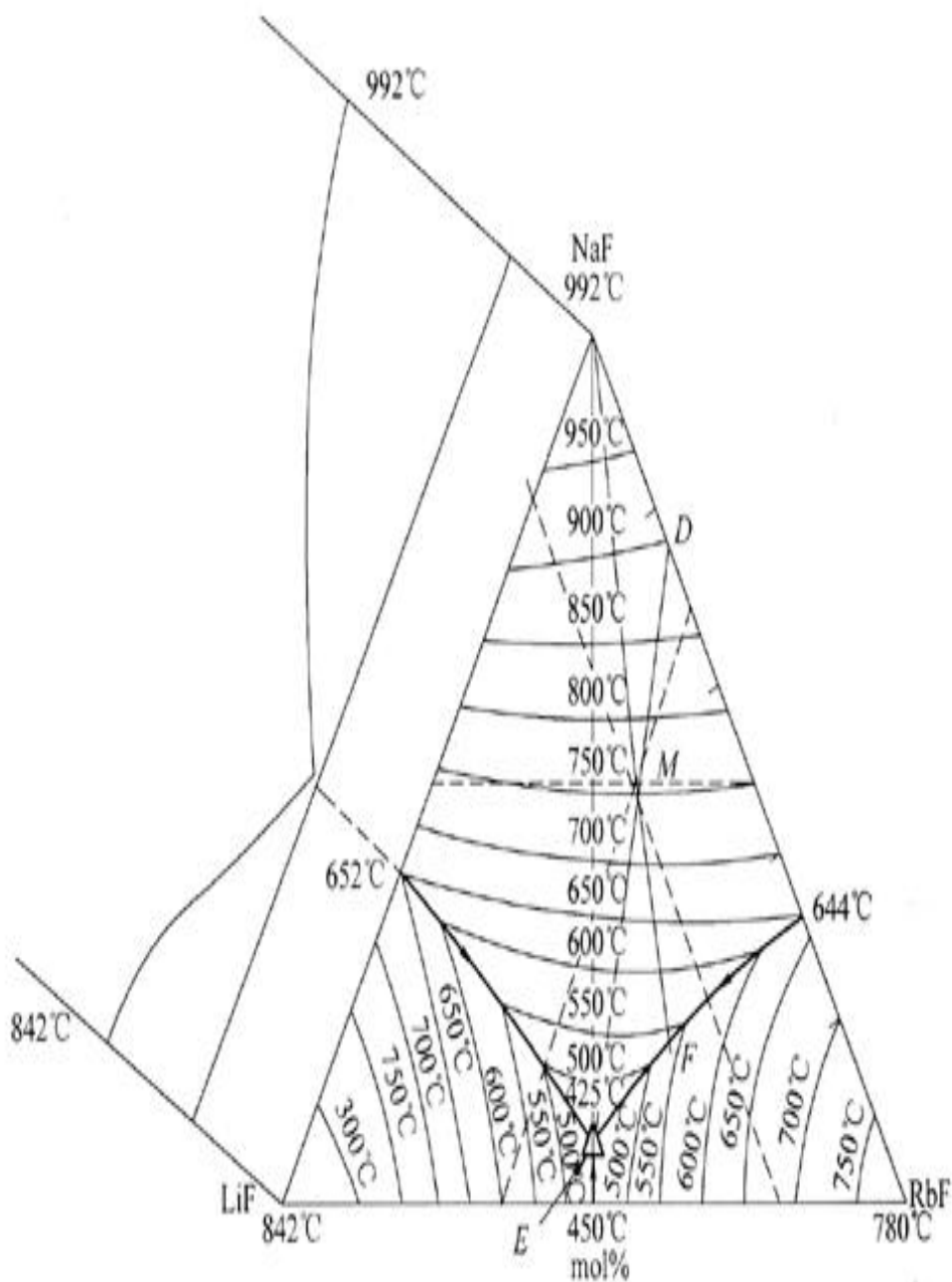


图 7-4 第十三题第 3 小题解答图

试卷八

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、名词解释

1. 金属键
2. 间隙固溶体
3. 肖脱基空位
4. 共晶转变
5. 负温度梯度
6. 上坡扩散
7. 形变织构
8. 惯习面
9. 时效
10. 一级相变

二、填空

1. 如果晶体中不同的原子面用 A、B、C、D 等字母来表示，面心立方晶体中原子的堆垛方式为 (1)，密排六方晶体原子的堆垛方式为 (2)。
2. 原子或离子的 (3) 是指在晶体结构中，该原子或离子的周围与它直接相邻结合的原子个数或所有异号离子的个数。
3. 点缺陷的平衡浓度随 (4) 的升高而增大。
4. 柏氏矢量等于点阵矢量的位错称为 (5)；在面心立方晶体中，由 (6) 造成的不全位错称为肖克莱不全位错；由插入或者抽去一层密排面造成的不全位错称为 (7) 不全位错。
5. 由一个固相同时析出成分和晶体结构均不相同的两个新固相的过程称为 (8) 转变。
6. 在合金平衡相图中，确定一定温度和合金组分下合金内存在的各相的比例时，可以通过等温连接线，利用 (9) 定律进行计算。
7. 在均一的液相中靠自身的结构起伏和能量起伏等条件形成晶核的方式称为 (10) 形核。
8. 固态相变形核的驱动力是 (11)，阻力主要是 (12) 和 (13)。
9. 金属多晶体塑性变形至少需 (14) 独立滑移系开动。
10. 发生在固体表面的吸附可分为 (15) 和 (16) 两种类型。
11. 根据界面上原子排列结构不同，可把固体中的相界面分为 (17)、(18) 和 (19) 界面。
12. 能产生交滑移的位错必然是 (20) 位错。

三、判断正误

1. 与 CsCl 类似，CsBr 具有 AX 类型的体心立方晶体结构。
2. 在非晶态固体材料中，原子在三维空间不具备周期性的重复排列，处于完全无序状态。
3. 溶质和溶剂晶体结构相同，是形成连续固溶体的充分必要条件。

4. 亚共晶白口铸铁的室温平衡组织由珠光体、变态莱氏体以及二次渗碳体组成，其中的珠光体是由初晶奥氏体共析转变形成的。

5. 纯金属凝固时，界面前沿液体的过冷区形态和性质取决于液体内部实际温度的分布，这种过冷叫做成分过冷。

6. 贝氏体转变中，Fe、C 原子均不发生扩散。

7. 以界面能降低为晶粒长大驱动力时，晶界迁移总是向着晶界曲率中心方向。

8. 晶粒越细小，晶体强度、硬度越高，塑性、韧性越差。

9. 根据施密特定律，晶体滑移面平行于拉力轴时最容易产生滑移。

10. 结构简单、规整度高、对称性好的高分子容易结晶。

四、用四指数表示的密排六方结构的原子最密排面和最密排方向是什么？试证明理想密排六方晶胞的晶格常数比(轴比) c/a 为 1.633。

五、以圆圈表示一个原子，试画出体心立方晶体中(111)面的原子排列方式，要求至少画出十个以上的原子。

六、实验中发现，在 α -Fe 中可以通过

$$\frac{a}{2} [11\bar{1}] + \frac{a}{2} [\bar{1}11] \rightarrow a [100]$$
 反应形成[100]位错，在 Fe 的晶胞中表示这一反应，并证明此位错反应可以发生。

七、金属中空位平衡浓度随温度的变化规律遵循 $N_v = N \exp(-Q_v/RT)$ 。某金属在被加热到 1130K 的时候，其空位的平衡浓度是其在 1000K 时的 5 倍。假设在 1000~1130K 之间金属的密度不变，气体常数为 8.31J/(mol·K)，试计算其空位形成能 Q_v 。

八、请在答题纸上按图 8-1 绘制铁碳相图，完成下面问题：

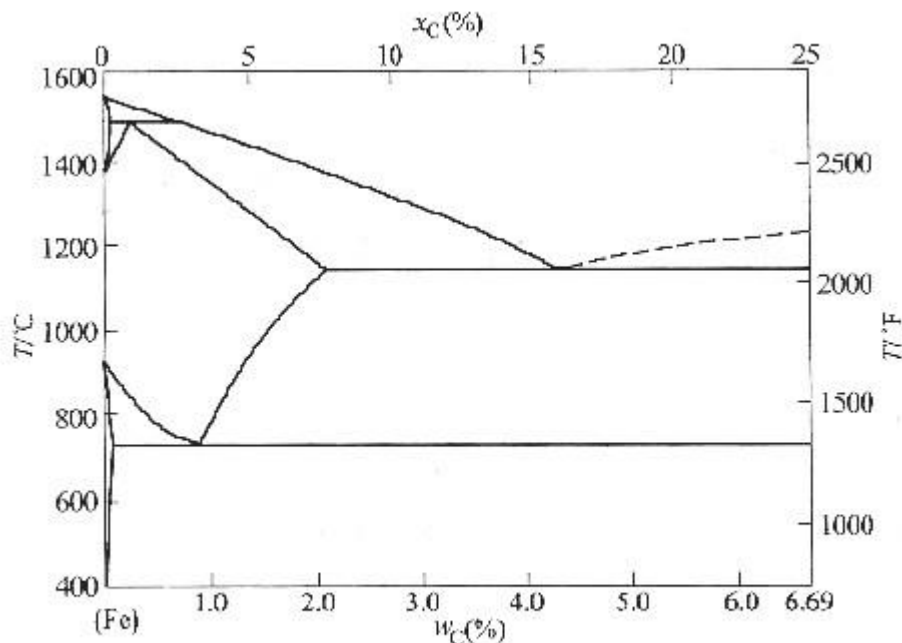


图 8-1 第八题图

1. 完成以下信息的标注：

(1) 液相线和固相线。

(2) 共晶、共析、包晶反应及其温度。

(3) 两条分别表示 C 在奥氏体和铁素体中溶解度的固溶线。

(4) 所有单相和两相区。

(5) 重要的成分点：0.022%C，0.77%C，2.11%C，4.3%C 以及 6.7%C。

2. 如果有 6kg 含碳量 $w_c=0.45\%$ 的奥氏体缓慢冷却到 727°C 以下，先共析相是什么？在最终室温平衡组织中先共析相有多少千克？最终室温平衡组织中总共含有多少千克铁素体和渗碳体？

九、在立方晶胞内画出 (122)、 $(\bar{1}10)$ 晶面，及 $[121]$ 、 $[\bar{1}10]$ 、 $[0\bar{1}2]$ 晶向。

十、塑性变形金属的显微组织、晶内结构发生什么变化？性能发生哪些变化？

十一、马氏体的强化要素有哪些？请详细说明马氏体的强度和韧性与其含碳量、组织形态及亚结构的关系。

十二、影响晶态固体中原子扩散的因素有哪些？并加以简单说明。

十三、已知碳在 γ -Fe 中的扩散常数 $D_0=2.0 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$ ，扩散激活能 $Q=140 \times 10^3 \text{J/mol}$ ，要想得到与在 927°C 时渗碳 10h 的相同厚度，在 870°C 渗碳需要多长时间？(忽略不同温度下碳在 γ -Fe 中溶解度的不同)

标准答案

一、

1. 金属键：金属正离子与自由电子之间相互作用构成的金属原子间的结合力称为金属键。

2. 间隙固溶体：当溶质原子比较小时，能够进入溶剂晶格的间隙位置内，这样形成的固溶体称为间隙固溶体。

3. 肖脱基空位：离位原子迁移到外表面或内界面(如晶界等)处形成的空位称为肖脱基空位。

4. 共晶转变：由一个液相同时结晶出两个不同固相的过程称为共晶转变。

5. 负温度梯度：结晶前沿液相中，温度由固液界面向液相内部逐渐降低的分布称为负温度梯度。

6. 上坡扩散：在化学位差为驱动力的条件下，原子由低浓度位置向高浓度位置进行的扩散。

7. 形变组织：随塑性变形量增加，多晶体不同晶粒某一晶体学取向趋于一致的现象。

8. 惯习面：固态相变时，新相往往沿母相特定原子面形成，这个与新相主平面平行的母相晶面称为惯习面。

9. 时效：过饱和固溶体后续在室温或高于室温的溶质原子脱溶过程。

10. 一级相变：两相的自由焓和化学位均相等，但自由焓的一阶偏导数不相等的相变。

1. (1) ABCABCABC...；(2) ABABAB...

2. (3) 配位数

3. (4) 温度

4. (5) 全位错；(6) 不均匀滑移；(7) 弗兰克

5. (8) 共析

6. (9) 杠杆

7. (10) 均匀

8. (11) 新相和母相的自由能之差；(12) 界面能；(13) 弹性应变能

9. (14) 五个

10. (15) 物理吸附; (16) 化学吸附
 11. (17) 共格; (18) 非共格; (19) 半共格
 12. (20) 螺型

二、

1. ×; 2. ×; 3. ×; 4. √; 5. ×;
 6. ×; 7. √; 8. ×; 9. ×; 10. √

四、用四指数表示的密排六方结构的原子最密排面为 {0001}，用四指数表

示的密排六方结构的原子最密排方向为 $\langle \bar{1} \bar{1} 20 \rangle$ 。

证明：密排六方晶胞的 1/3 如图 8-2 所示。

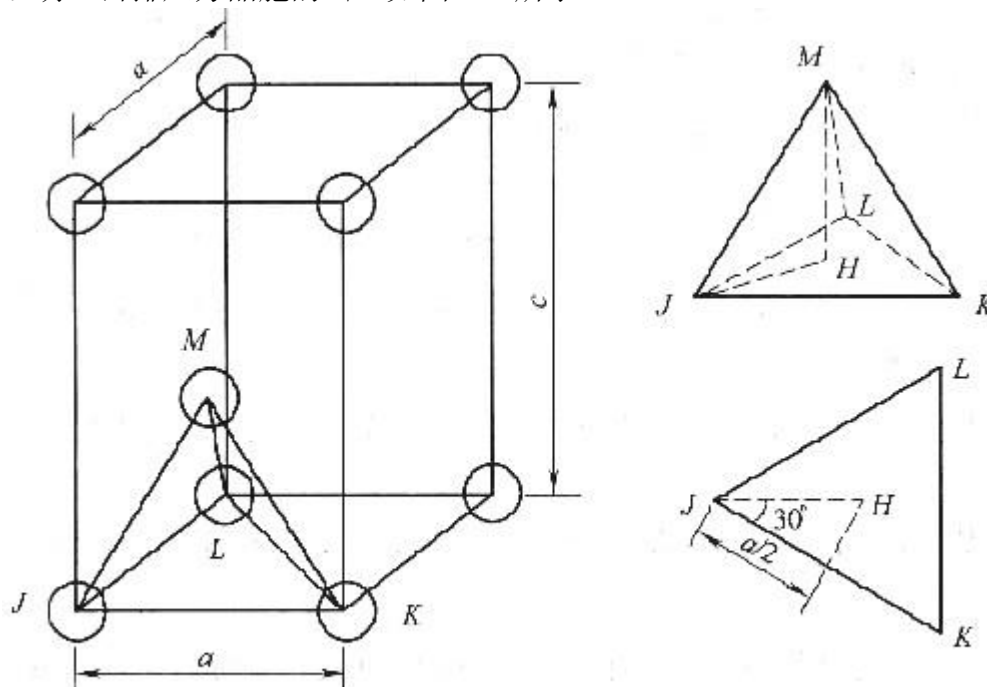


图 8-2 第四题解答图

考虑由 JKLM 构成的四面体 $\overline{MH} = c/2$

由于在 J、K 和 M 处的原子相互接触，因此

$$\overline{JM} = \overline{JK} = 2R = a$$

在 JHM 三角形中 $(\overline{JM})^2 = (\overline{JH})^2 + (\overline{MH})^2$ 或 $a^2 = (\overline{JH})^2 + \left(\frac{c}{2}\right)^2$

在 JKL 等边三角形中解出 \overline{JH} 的长度

$$\cos 30^\circ = \frac{a/2}{\overline{JH}} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\overline{JH} = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

即

$$a^2 = \left(\frac{a}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{c}{2}\right)^2 = \frac{a^2}{3} + \frac{c^2}{4}$$

将 JH 代入，得

由此解出 $\frac{c}{a} = \sqrt{\frac{8}{3}} = 1.633$
 五、如图 8-3 所示。

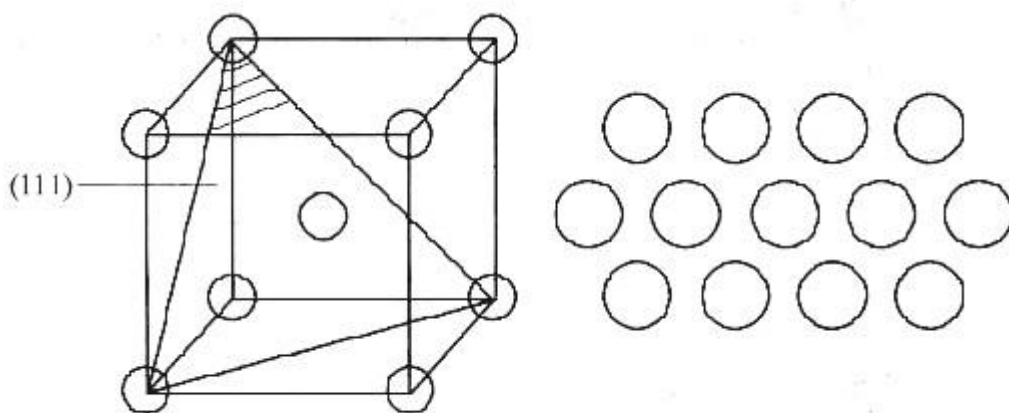


图 8-3 第五题解答图

六、如图 8-4 所示。

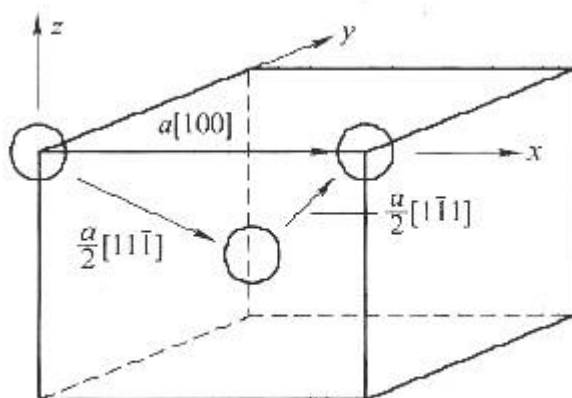


图 8-4 第六题解答图

证明：

$$b_1 + b_2 \rightarrow b_3$$

$$|b| = a \sqrt{u^2 + v^2 + w^2}$$

$$b_1 = \frac{1}{2} \sqrt{1+1+1} a = \frac{\sqrt{3}}{2} a, \quad b_2 = \frac{\sqrt{3}}{2} a, \quad b_3 = \sqrt{1} a = a$$

$$b_1^2 + b_2^2 > b_3^2$$

$$\left(\frac{3}{4} + \frac{3}{4}\right) a^2 > 1 a^2$$

因此反应可以发生。

七、在 1130K 和 1000K 的空位平衡浓度分别为 N_{V1} 和 N_{V2} ，那么

$$\frac{N_{v1}}{N_{v2}} = 5 = \frac{N_{\exp}\left(-\frac{Q_v}{RT_1}\right)}{N_{\exp}\left(-\frac{Q_v}{RT_2}\right)} \text{ 或 } 5 = \exp\left[-\frac{Q_v}{R}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right]$$

这样可以求解 Q_v

$$Q_v = -\frac{R \ln 5}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} = -\frac{[8.31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})] \ln 5}{\frac{1}{1130} - \frac{1}{1000}} = 116300 \text{ J/mol}$$

八、

1. 如图 8-5 所示。

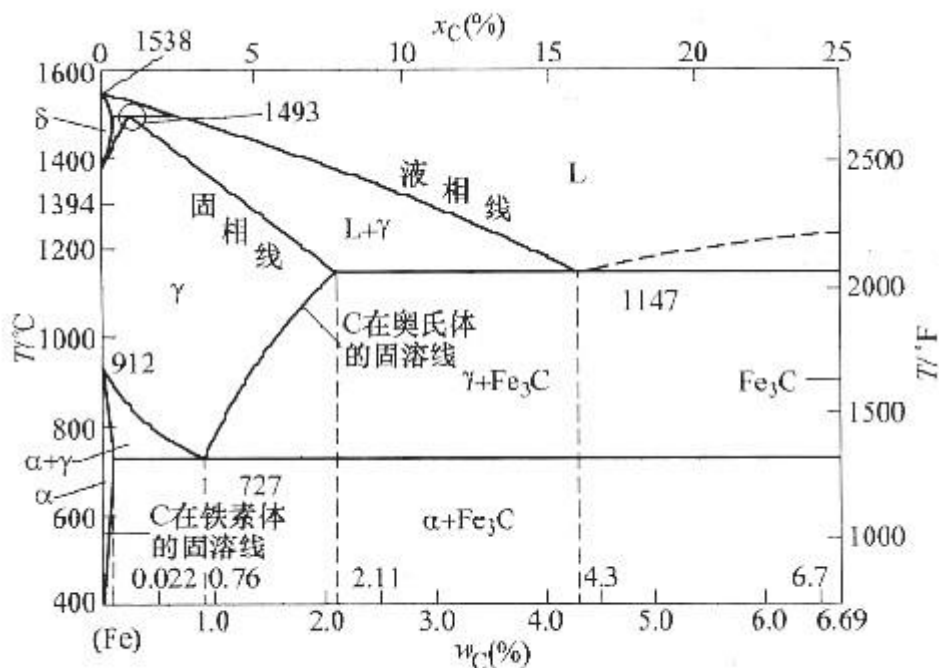


图 8-5 第八题第 1 小题解答图

2. 如果有 6kg 含碳量 $w_c=0.45\%$ 的奥氏体缓慢冷却到 727°C 以下, 先共析相是先共析铁素体。

根据杠杆定律计算得先共析相为

$$m_{\alpha'} = \frac{0.76 - 0.45}{0.76 - 0.022} \times 100\% \times 6\text{kg} = 2.52\text{kg}$$

根据杠杆定律, 最终室温平衡组织中所含铁素体和渗碳体分别为

$$m_{\alpha} = \frac{6.70 - 0.45}{6.70 - 0.022} \times 100\% \times 6\text{kg} = 5.64\text{kg}$$

$$m_{\text{Fe}_3\text{C}} = \frac{0.45 - 0.022}{6.70 - 0.022} \times 100\% \times 6\text{kg} = 0.36\text{kg}$$

九、如图 8-6 所示。

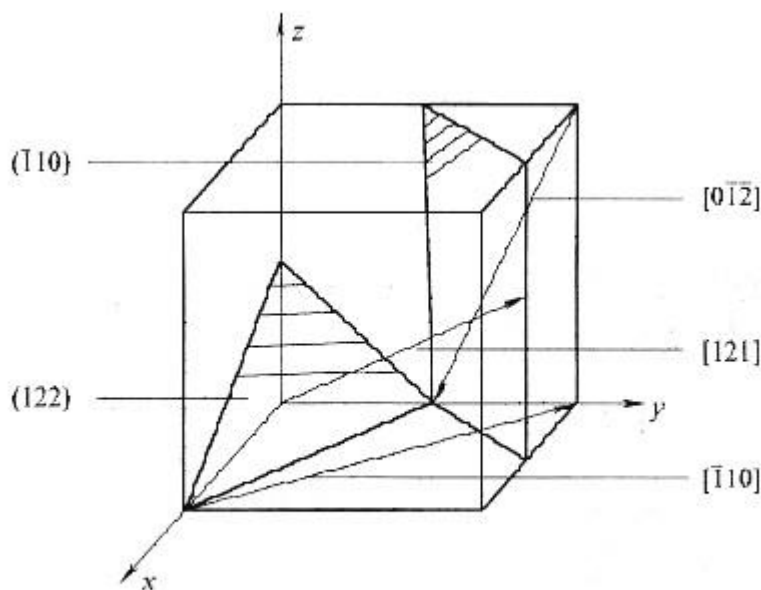


图 8-6 第九题解答图

十、金属发生塑性变形后，显微组织形态上，原等轴晶粒沿变形方向被拉长，在大变形量时晶界甚至呈纤维状，如存在硬脆的第二相颗粒或夹杂，常沿变形方向呈带状分布。

显微结构上，缺陷(空位和位错)密度明显增大。由于变形过程中位错的增殖及运动过程中位错的交割和交互作用，形成位错缠结，异号位错相消后构成胞状结构。随变形量增加，位错胞数量增多，尺寸减小，晶体内部的储存能增大。性能上，冷变形金属将发生加工硬化，表现为强度显著提高、塑性明显下降。

十一、马氏体的强化要素有碳原子的间隙固溶强化作用；C 原子团簇对位错的钉扎作用；C 原子进入马氏体晶体结构的扁八面体中心，造成非对称点阵膨胀(形成畸变偶极应力场)，产生的强烈的间隙固溶强化作用；晶界、位错、孪晶的强化作用。

马氏体的强度和韧性与其含碳量、组织形态及亚结构密切相关。铁碳合金中，含碳量 $w_c < 0.3\%$ ，形成板条状马氏体，具有位错亚结构，强度较低，塑性和韧性好； $w_c > 1.0\%$ ，形成片状马氏体，具有孪晶亚结构，强度高，但塑性和韧性差； $0.3\% < w_c < 1.0\%$ 形成板条马氏体+片状马氏体的混合组织，具有位错和孪晶的混合亚结构，可获得优良的强韧性综合性能。

十二、

(1) 温度：温度越高，扩散系数越大，扩散速率越快。

(2) 晶体结构及固溶体类型：致密度较小的晶体结构中扩散激活能较小，扩散易于进行；对称性较低的晶体结构，扩散系数的各向异性显著；间隙固溶体中的扩散激活能远小于置换固溶体，扩散容易进行。

(3) 第三组元：根据加入的第三组元的性质不同，有的促进扩散，有的阻碍扩散；

(4) 晶体缺陷：沿晶界的扩散系数远大于体扩散系数；沿位错管道扩散时扩散激活能较小，因而位错加速扩散。

十三、碳在 γ -Fe 中扩散的误差函数解表示为

$$\frac{C_s - C}{C_s - C_0} = \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$$

碳在 927°C 与 870°C 两种条件下分别扩散的误差函数间关系为

$$\operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{D_1 t_1}}\right) = \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{D_2 t_2}}\right)$$

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{t_2}{t_1}$$

即

碳在 γ -Fe 中的扩散系数为 $D = D_0 \exp(-Q/RT)$

碳在 927°C 条件下的扩散系数为

$$\begin{aligned} D_1 &= 2.0 \times 10^{-5} \exp\left(\frac{-140 \times 10^3 \text{ J/mol}}{(8.31 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}) \times 1200 \text{ K}}\right) \text{ m}^2/\text{s} \\ &= 2.0 \times 10^{-5} e^{-14.04} \text{ m}^2/\text{s} = 15.99 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s} \end{aligned}$$

碳在 870°C 条件下的扩散系数为

$$\begin{aligned} D_2 &= 2.0 \times 10^{-5} \exp\left(\frac{-140 \times 10^3 \text{ J/mol}}{(8.31 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}) \times 1143 \text{ K}}\right) \text{ m}^2/\text{s} \\ &= 2.0 \times 10^{-5} \cdot e^{-14.74} \text{ m}^2/\text{s} = 7.94 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s} \end{aligned}$$

$$\frac{D_1}{D_2} = e^{0.7} = 2.014$$

计算可得

$$t_2 = \frac{D_1}{D_2} t_1 = 2.014 \times 10 \text{ h} = 20.14 \text{ h}$$

则所需时间为

试卷八

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、名词解释

1. 金属键
2. 间隙固溶体
3. 肖脱基空位
4. 共晶转变
5. 负温度梯度
6. 上坡扩散
7. 形变织构
8. 惯习面
9. 时效
10. 一级相变

二、填空

1. 如果晶体中不同的原子面用 A、B、C、D 等字母来表示，面心立方晶体中原子的堆垛方式为(1)，密排六方晶体原子的堆垛方式为(2)。
2. 原子或离子的(3)是指在晶体结构中，该原子或离子的周围与它直接相邻结合的原子个数或所有异号离子的个数。
3. 点缺陷的平衡浓度随(4)的升高而增大。
4. 柏氏矢量等于点阵矢量的位错称为(5)；在面心立方晶体中，由(6)造成的不全位错称为肖克莱不全位错；由插入或者抽去一层密排面造成的不全位错称为(7)不全位错。
5. 由一个固相同时析出成分和晶体结构均不相同的两个新固相的过程称为(8)转变。
6. 在合金平衡相图中，确定一定温度和合金组分下合金内存在的各相的比例时，可以通过等温连接线，利用(9)定律进行计算。
7. 在均一的液相中靠自身的结构起伏和能量起伏等条件形成晶核的方式称为(10)形核。
8. 固态相变形核的驱动力是(11)，阻力主要是(12)和(13)。
9. 金属多晶体塑性变形至少需(14)独立滑移系开动。
10. 发生在固体表面的吸附可分为(15)和(16)两种类型。
11. 根据界面上原子排列结构不同，可把固体中的相界面分为(17)、(18)和(19)界面。
12. 能产生交滑移的位错必然是(20)位错。

三、判断正误

1. 与 CsCl 类似，CsBr 具有 AX 类型的体心立方晶体结构。
2. 在非晶态固体材料中，原子在三维空间不具备周期性的重复排列，处于完全无序状态。
3. 溶质和溶剂晶体结构相同，是形成连续固溶体的充分必要条件。

4. 亚共晶白口铸铁的室温平衡组织由珠光体、变态莱氏体以及二次渗碳体组成，其中的珠光体是由初晶奥氏体共析转变形成的。

5. 纯金属凝固时，界面前沿液体的过冷区形态和性质取决于液体内部实际温度的分布，这种过冷叫做成分过冷。

6. 贝氏体转变中，Fe、C 原子均不发生扩散。

7. 以界面能降低为晶粒长大驱动力时，晶界迁移总是向着晶界曲率中心方向。

8. 晶粒越细小，晶体强度、硬度越高，塑性、韧性越差。

9. 根据施密特定律，晶体滑移面平行于拉力轴时最容易产生滑移。

10. 结构简单、规整度高、对称性好的高分子容易结晶。

四、用四指数表示的密排六方结构的原子最密排面和最密排方向是什么？试证明理想密排六方晶胞的晶格常数比(轴比) c/a 为 1.633。

五、以圆圈表示一个原子，试画出体心立方晶体中(111)面的原子排列方式，要求至少画出十个以上的原子。

六、实验中发现，在 α -Fe 中可以通过

$$\frac{a}{2} [11\bar{1}] + \frac{a}{2} [\bar{1}11] \rightarrow a [100]$$
 反应形成[100]位错，在 Fe 的晶胞中表示这一反应，并证明此位错反应可以发生。

七、金属中空位平衡浓度随温度的变化规律遵循 $N_v = N \exp(-Q_v/RT)$ 。某金属在被加热到 1130K 的时候，其空位的平衡浓度是其在 1000K 时的 5 倍。假设在 1000~1130K 之间金属的密度不变，气体常数为 8.31J/(mol·K)，试计算其空位形成能 Q_v 。

八、请在答题纸上按图 8-1 绘制铁碳相图，完成下面问题：

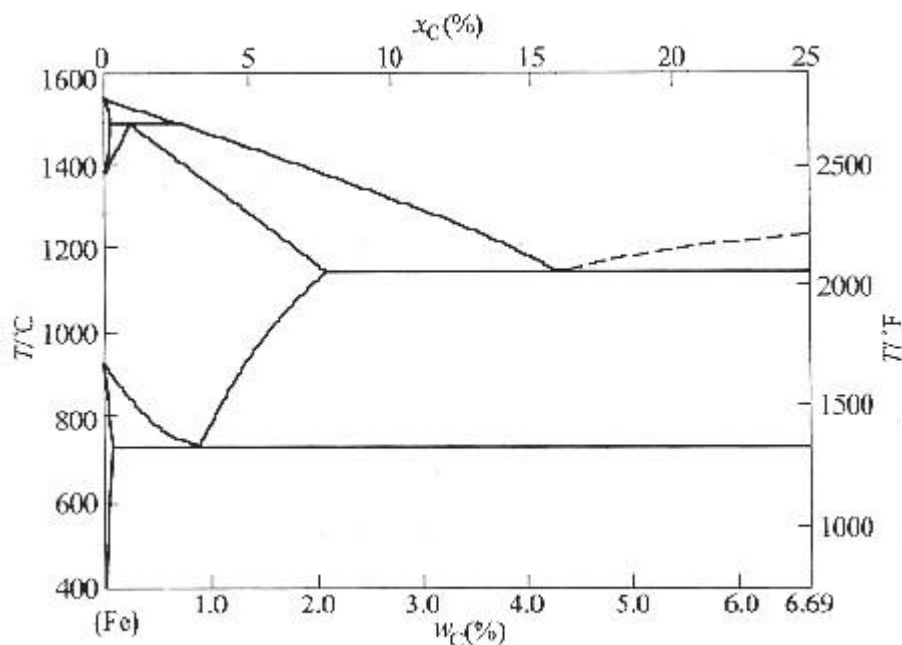


图 8-1 第八题图

1. 完成以下信息的标注：

(1) 液相线和固相线。

(2) 共晶、共析、包晶反应及其温度。

(3) 两条分别表示 C 在奥氏体和铁素体中溶解度的固溶线。

(4) 所有单相和两相区。

(5) 重要的成分点：0.022%C，0.77%C，2.11%C，4.3%C 以及 6.7%C。

2. 如果有 6kg 含碳量 $w_c=0.45\%$ 的奥氏体缓慢冷却到 727°C 以下，先共析相是什么？在最终室温平衡组织中先共析相有多少千克？最终室温平衡组织中总共含有多少千克铁素体和渗碳体？

九、在立方晶胞内画出 (122)、 $(\bar{1}10)$ 晶面，及 $[121]$ 、 $[\bar{1}10]$ 、 $[0\bar{1}2]$ 晶向。

十、塑性变形金属的显微组织、晶内结构发生什么变化？性能发生哪些变化？

十一、马氏体的强化要素有哪些？请详细说明马氏体的强度和韧性与其含碳量、组织形态及亚结构的关系。

十二、影响晶态固体中原子扩散的因素有哪些？并加以简单说明。

十三、已知碳在 γ -Fe 中的扩散常数 $D_0=2.0 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$ ，扩散激活能 $Q=140 \times 10^3 \text{J/mol}$ ，要想得到与在 927°C 时渗碳 10h 的相同厚度，在 870°C 渗碳需要多长时间？(忽略不同温度下碳在 γ -Fe 中溶解度的不同)

标准答案

一、

1. 金属键：金属正离子与自由电子之间相互作用构成的金属原子间的结合力称为金属键。

2. 间隙固溶体：当溶质原子比较小时，能够进入溶剂晶格的间隙位置内，这样形成的固溶体称为间隙固溶体。

3. 肖脱基空位：离位原子迁移到外表面或内界面(如晶界等)处形成的空位称为肖脱基空位。

4. 共晶转变：由一个液相同时结晶出两个不同固相的过程称为共晶转变。

5. 负温度梯度：结晶前沿液相中，温度由固液界面向液相内部逐渐降低的分布称为负温度梯度。

6. 上坡扩散：在化学位差为驱动力的条件下，原子由低浓度位置向高浓度位置进行的扩散。

7. 形变组织：随塑性变形量增加，多晶体不同晶粒某一晶体学取向趋于一致的现象。

8. 惯习面：固态相变时，新相往往沿母相特定原子面形成，这个与新相主平面平行的母相晶面称为惯习面。

9. 时效：过饱和固溶体后续在室温或高于室温的溶质原子脱溶过程。

10. 一级相变：两相的自由焓和化学位均相等，但自由焓的一阶偏导数不相等的相变。

1. (1) ABCABCABC...；(2) ABABAB...

2. (3) 配位数

3. (4) 温度

4. (5) 全位错；(6) 不均匀滑移；(7) 弗兰克

5. (8) 共析

6. (9) 杠杆

7. (10) 均匀

8. (11) 新相和母相的自由能之差；(12) 界面能；(13) 弹性应变能

9. (14) 五个

10. (15) 物理吸附; (16) 化学吸附
 11. (17) 共格; (18) 非共格; (19) 半共格
 12. (20) 螺型

二、

1. ×; 2. ×; 3. ×; 4. √; 5. ×;
 6. ×; 7. √; 8. ×; 9. ×; 10. √

四、用四指数表示的密排六方结构的原子最密排面为 {0001}，用四指数表

示的密排六方结构的原子最密排方向为 $\langle \bar{1} \bar{1} 20 \rangle$ 。

证明：密排六方晶胞的 1/3 如图 8-2 所示。

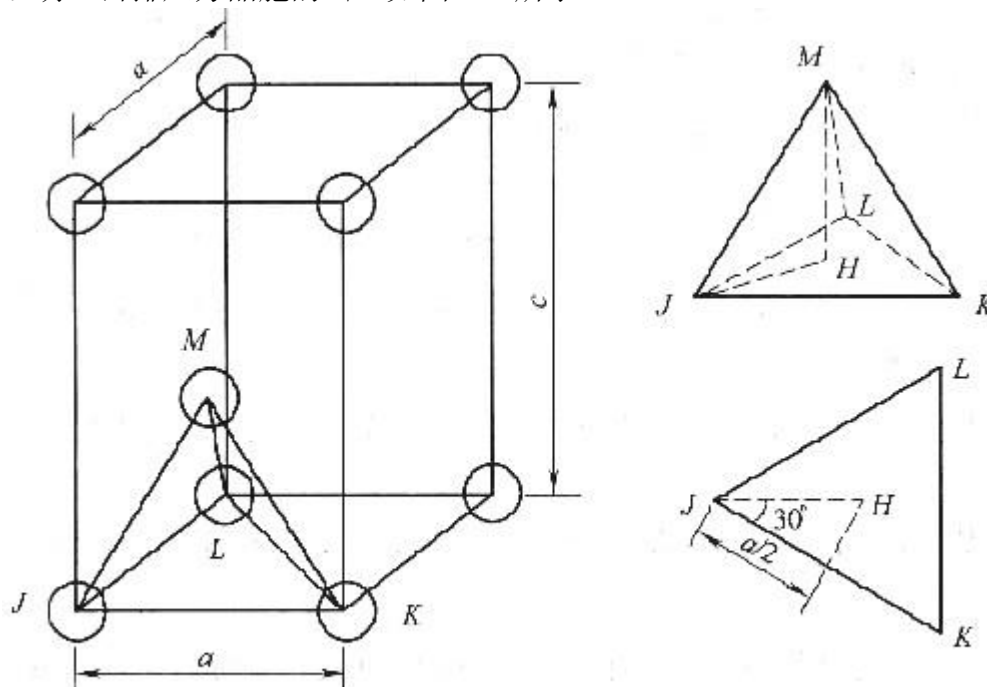


图 8-2 第四题解答图

考虑由 JKLM 构成的四面体 $\overline{MH} = c/2$

由于在 J、K 和 M 处的原子相互接触，因此

$$\overline{JM} = \overline{JK} = 2R = a$$

在 JHM 三角形中 $(\overline{JM})^2 = (\overline{JH})^2 + (\overline{MH})^2$ 或 $a^2 = (\overline{JH})^2 + \left(\frac{c}{2}\right)^2$

在 JKL 等边三角形中解出 \overline{JH} 的长度

$$\cos 30^\circ = \frac{a/2}{\overline{JH}} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\overline{JH} = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

即

$$a^2 = \left(\frac{a}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{c}{2}\right)^2 = \frac{a^2}{3} + \frac{c^2}{4}$$

将 JH 代入，得

由此解出 $\frac{c}{a} = \sqrt{\frac{8}{3}} = 1.633$
 五、如图 8-3 所示。

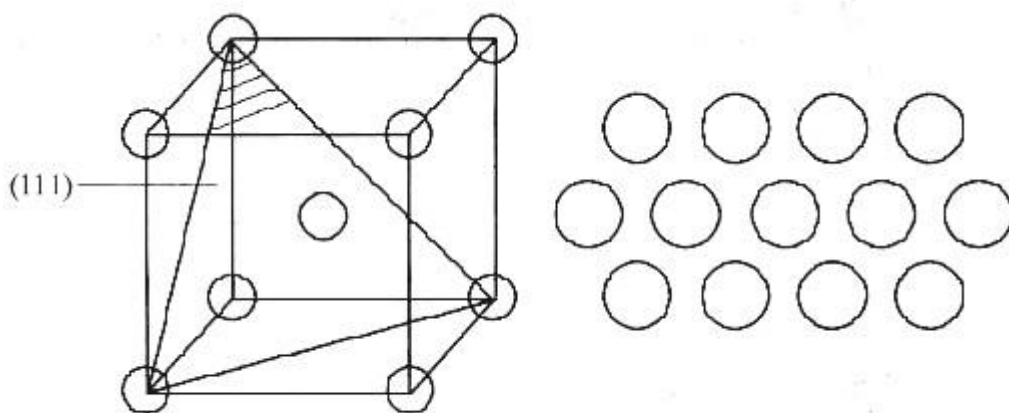


图 8-3 第五题解答图

六、如图 8-4 所示。

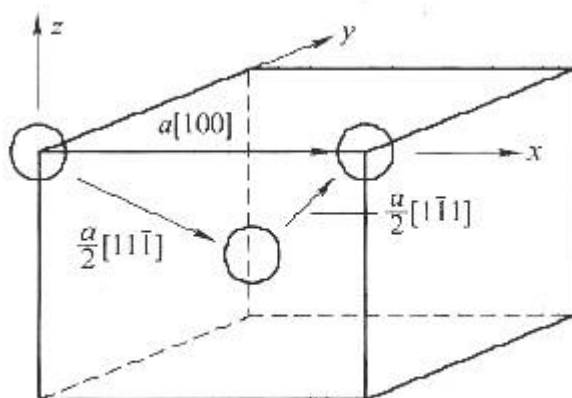


图 8-4 第六题解答图

证明：

$$\begin{aligned}
 & b_1 + b_2 \rightarrow b_3 \\
 & |b| = a \sqrt{u^2 + v^2 + w^2} \\
 & b_1 = \frac{1}{2} \sqrt{1+1+1} a = \frac{\sqrt{3}}{2} a, \quad b_2 = \frac{\sqrt{3}}{2} a, \quad b_3 = \sqrt{1} a = a \\
 & b_1^2 + b_2^2 > b_3^2 \\
 & \left(\frac{3}{4} + \frac{3}{4} \right) a^2 > 1 a^2
 \end{aligned}$$

因此反应可以发生。

七、在 1130K 和 1000K 的空位平衡浓度分别为 N_{V1} 和 N_{V2} ，那么

$$\frac{N_{v1}}{N_{v2}} = 5 = \frac{N_{\exp}\left(-\frac{Q_v}{RT_1}\right)}{N_{\exp}\left(-\frac{Q_v}{RT_2}\right)} \text{ 或 } 5 = \exp\left[-\frac{Q_v}{R}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right]$$

这样可以求解 Q_v

$$Q_v = -\frac{R \ln 5}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} = -\frac{[8.31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})] \ln 5}{\frac{1}{1130} - \frac{1}{1000}} = 116300 \text{ J/mol}$$

八、

1. 如图 8-5 所示。

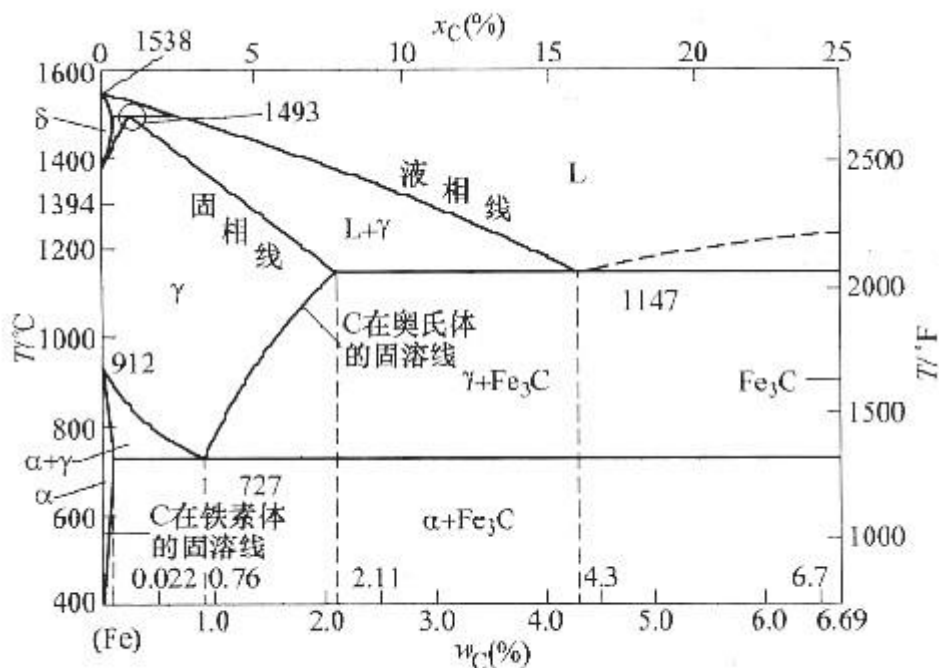


图 8-5 第八题第 1 小题解答图

2. 如果有 6kg 含碳量 $w_c=0.45\%$ 的奥氏体缓慢冷却到 727°C 以下, 先共析相是先共析铁素体。

根据杠杆定律计算得先共析相为

$$m_{\alpha'} = \frac{0.76 - 0.45}{0.76 - 0.022} \times 100\% \times 6\text{kg} = 2.52\text{kg}$$

根据杠杆定律, 最终室温平衡组织中所含铁素体和渗碳体分别为

$$m_{\alpha} = \frac{6.70 - 0.45}{6.70 - 0.022} \times 100\% \times 6\text{kg} = 5.64\text{kg}$$

$$m_{\text{Fe}_3\text{C}} = \frac{0.45 - 0.022}{6.70 - 0.022} \times 100\% \times 6\text{kg} = 0.36\text{kg}$$

九、如图 8-6 所示。

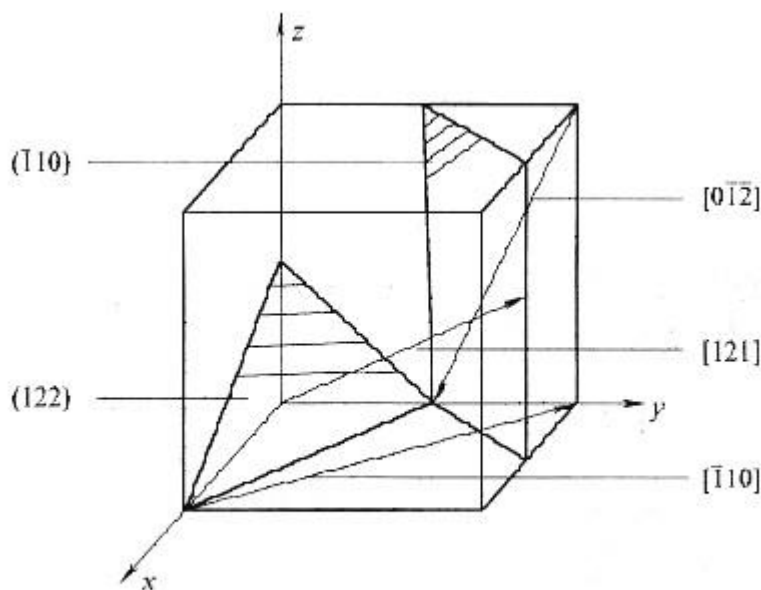


图 8-6 第九题解答图

十、金属发生塑性变形后，显微组织形态上，原等轴晶粒沿变形方向被拉长，在大变形量时晶界甚至呈纤维状，如存在硬脆的第二相颗粒或夹杂，常沿变形方向呈带状分布。

显微结构上，缺陷(空位和位错)密度明显增大。由于变形过程中位错的增殖及运动过程中位错的交割和交互作用，形成位错缠结，异号位错相消后构成胞状结构。随变形量增加，位错胞数量增多，尺寸减小，晶体内部的储存能增大。性能上，冷变形金属将发生加工硬化，表现为强度显著提高、塑性明显下降。

十一、马氏体的强化要素有碳原子的间隙固溶强化作用；C 原子团簇对位错的钉扎作用；C 原子进入马氏体晶体结构的扁八面体中心，造成非对称点阵膨胀(形成畸变偶极应力场)，产生的强烈的间隙固溶强化作用；晶界、位错、孪晶的强化作用。

马氏体的强度和韧性与其含碳量、组织形态及亚结构密切相关。铁碳合金中，含碳量 $w_c < 0.3\%$ ，形成板条状马氏体，具有位错亚结构，强度较低，塑性和韧性好； $w_c > 1.0\%$ ，形成片状马氏体，具有孪晶亚结构，强度高，但塑性和韧性差； $0.3\% < w_c < 1.0\%$ 形成板条马氏体+片状马氏体的混合组织，具有位错和孪晶的混合亚结构，可获得优良的强韧性综合性能。

十二、

(1) 温度：温度越高，扩散系数越大，扩散速率越快。

(2) 晶体结构及固溶体类型：致密度较小的晶体结构中扩散激活能较小，扩散易于进行；对称性较低的晶体结构，扩散系数的各向异性显著；间隙固溶体中的扩散激活能远小于置换固溶体，扩散容易进行。

(3) 第三组元：根据加入的第三组元的性质不同，有的促进扩散，有的阻碍扩散；

(4) 晶体缺陷：沿晶界的扩散系数远大于体扩散系数；沿位错管道扩散时扩散激活能较小，因而位错加速扩散。

十三、碳在 γ -Fe 中扩散的误差函数解表示为

$$\frac{C_s - C}{C_s - C_0} = \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$$

碳在 927°C 与 870°C 两种条件下分别扩散的误差函数间关系为

$$\operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{D_1 t_1}}\right) = \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{D_2 t_2}}\right)$$

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{t_2}{t_1}$$

即

碳在 γ -Fe 中的扩散系数为 $D = D_0 \exp(-Q/RT)$

碳在 927°C 条件下的扩散系数为

$$\begin{aligned} D_1 &= 2.0 \times 10^{-5} \exp\left(\frac{-140 \times 10^3 \text{ J/mol}}{(8.31 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}) \times 1200 \text{ K}}\right) \text{ m}^2/\text{s} \\ &= 2.0 \times 10^{-5} e^{-14.04} \text{ m}^2/\text{s} = 15.99 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s} \end{aligned}$$

碳在 870°C 条件下的扩散系数为

$$\begin{aligned} D_2 &= 2.0 \times 10^{-5} \exp\left(\frac{-140 \times 10^3 \text{ J/mol}}{(8.31 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}) \times 1143 \text{ K}}\right) \text{ m}^2/\text{s} \\ &= 2.0 \times 10^{-5} \cdot e^{-14.74} \text{ m}^2/\text{s} = 7.94 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s} \end{aligned}$$

$$\frac{D_1}{D_2} = e^{0.7} = 2.014$$

计算可得

$$t_2 = \frac{D_1}{D_2} t_1 = 2.014 \times 10 \text{ h} = 20.14 \text{ h}$$

则所需时间为