

# 普通高等教育材料科学与工程专业规划教材

材料科学基础 (第2版)	西安交通大学	石德珂	主编
材料工程基础	西安理工大学	谷臣清	主编
材料研究方法	西安交通大学	谈育煦 胡志忠	编
材料分析方法 (第3版)	哈尔滨工业大学	周 玉	主编
工程材料力学性能 (第2版)	合肥工业大学	束德林	主编
材料物理性能	大连理工大学	陈骝骥	主编
生态环境材料学	北京工业大学	聂祚仁 王志宏	主编
材料腐蚀与防护概论	北京科技大学	何业东 齐慧滨	编
纳米材料 (第2版)	西安交通大学	丁秉钧	主编
高分子材料概论	青岛科技大学	吴其晔 冯 莺	编
计算机在材料科学中的应用	天津大学	许鑫华	主编
材料物理	武汉理工大学	叶卫平	编
材料化学 (第2版)	西安交通大学	石德珂 朱维斗	编著
功能材料	西北工业大学	朱光明 秦华宇	主编
无损检测	华南理工大学	朱 敏	主编
表面科学与技术	大连理工大学	李喜孟	等编
机械工程材料 (第3版)	上海交通大学	姚寿山	主编
材料科学基础学习辅导	西安交通大学	沈 莲	主编
非电量电测技术	西安交通大学	范群成	主编
材料力学行为 (英文版)	清华大学	田民波	编
材料科学基础考研试题汇编2002-2006	兰州理工大学	徐建林	编
		(美)Thomas H.Courtney 著	著
材料科学与工程导论	西安交通大学	范群成	主编
材料科学与工程基础	清华大学	田民波	主编
机械工程材料 (第3版)	南昌航空大学	王高潮	主编
工程材料 (第2版)	燕山大学	杨庆祥	主编
金属基复合材料	上海理工大学	王运炎 朱 莉	编
功能高分子材料学	燕山大学	崔占全	主编
金属学与热处理 (第2版)	江苏科技大学	孙振国	主编
热处理工程基础	江苏大学	赵玉涛	主编
超声波频谱分析技术及其应用	燕山大学	李青山	主编
材料科学基础考研试题汇编2007-2009	哈尔滨工业大学	崔忠圻 覃耀春	主编
	大连交通大学	陆 兴	主编
	大连理工大学	林 莉 李喜孟	编
	西安交通大学	范群成	主编
	清华大学	田民波	主编

材料科学基础考研试题汇编2007-2009

# 材料科学基础考研试题汇编

## 2007-2009

西安交通大学 范群成 主编  
清华大学 田民波

地址:北京市百万庄大街22号 邮政编码:100037  
电话服务 网络服务  
社服中心: (010)88361066 门户网: <http://www.cmpbook.com>  
销售一部: (010)88326294 教材网: <http://www.cmpedu.com>  
销售二部: (010)88379649  
读者购书热线: (010)88379203 封面防伪标均为盗版

ISBN 978-7-111-28651-6  
策划:冯春生/封面设计:张静  
定价:22.00元



机械工业出版社

机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



## 目 录

## 前言

清华大学 .....	1
试卷一 2007 年攻读硕士学位研究生入学考试试题 .....	1
标准答案 .....	2
试卷二 2008 年攻读硕士学位研究生入学考试试题 .....	9
标准答案 .....	11
试卷三 2009 年攻读硕士学位研究生入学考试试题 .....	16
标准答案 .....	18
西南交通大学 .....	24
试卷四 2007 年攻读硕士学位研究生入学考试试题 .....	24
标准答案 .....	26
试卷五 2008 年攻读硕士学位研究生入学考试试题 .....	34
标准答案 .....	36
试卷六 2009 年攻读硕士学位研究生入学考试试题 .....	42
标准答案 .....	43
北京工业大学 .....	50
试卷七 2007 年攻读硕士学位研究生入学考试试题 .....	50
标准答案 .....	52
试卷八 2008 年攻读硕士学位研究生入学考试试题 .....	58
标准答案 .....	61
试卷九 2009 年攻读硕士学位研究生入学考试试题 .....	67
标准答案 .....	70

中南大学 .....	75
试卷十 2007 年攻读硕士学位研究生入学考试试题 .....	75
标准答案 .....	77
试卷十一 2008 年攻读硕士学位研究生入学考试试题 .....	81
标准答案 .....	82
试卷十二 2009 年攻读硕士学位研究生入学考试试题 .....	86
标准答案 .....	87
南京工业大学 .....	90
试卷十三 2007 年攻读硕士学位研究生入学考试试题 .....	90
标准答案 .....	93
试卷十四 2008 年攻读硕士学位研究生入学考试试题 .....	97
标准答案 .....	100
试卷十五 2009 年攻读硕士学位研究生入学考试试题 .....	104
标准答案 .....	107
西北工业大学 .....	111
试卷十六 2007 年攻读硕士学位研究生入学考试试题 .....	111
标准答案 .....	112
试卷十七 2008 年攻读硕士学位研究生入学考试试题 .....	115
标准答案 .....	117
试卷十八 2009 年攻读硕士学位研究生入学考试试题 .....	120
标准答案 .....	121
西安工业大学 .....	125
试卷十九 2007 年攻读硕士学位研究生入学考试试题 .....	125
标准答案 .....	126
试卷二十 2008 年攻读硕士学位研究生入学考试试题 .....	131
标准答案 .....	132
试卷二十一 2009 年攻读硕士学位研究生入学考试试题 .....	138
标准答案 .....	140
西安理工大学 .....	145
试卷二十二 2007 年攻读硕士学位研究生入学考试试题 .....	145

标准答案 .....	147
试卷二十三 2008 年攻读硕士学位研究生入学考试试题 .....	153
标准答案 .....	154
试卷二十四 2009 年攻读硕士学位研究生入学考试试题 .....	159
标准答案 .....	160
西安交通大学 .....	165
试卷二十五 2007 年攻读硕士学位研究生入学考试试题 .....	165
标准答案 .....	169
试卷二十六 2008 年攻读硕士学位研究生入学考试试题 .....	174
标准答案 .....	176
试卷二十七 2009 年攻读硕士学位研究生入学考试试题 .....	182
标准答案 .....	185

# 清华大学

## 试 卷 一

### 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（与物理化学或固体物理）

适用专业：材料科学与工程

- 一、(5 分) 证明：对于立方晶系，有  $[hkl] \perp (hkl)$ 。
- 二、(10 分) 画出下述物质的一个晶胞：  
金刚石    NaCl    闪锌矿    纤锌矿    石墨
- 三、(10 分) 请导出摩尔分数为  $x_A$ 、 $x_B$  的二元系中的综合扩散系数  $D$  与分扩散系数  $D_A$ 、 $D_B$  之间的关系。
- 四、(10 分) 根据图 1-1 所示的铁碳平衡相图，回答以下问题：
  1. 写出在 1495℃、1154℃、1148℃、738℃ 和 727℃ 发生的三相平衡反应的反应式。
  2. 画出含碳量  $w_C = 1.2\%$  的过共析钢在室温下的平衡组织，并计算其中二次渗碳体的百分数。
  3. 含碳量  $w_C = 3.5\%$  的亚共晶白口铸铁在从液相平衡冷却到室温时会发生什么三相平衡反应和两相平衡反应（可用热分析曲线表示）？室温下该成分的铸铁中有没有二次渗碳体？如有的话，计算其百分数。
- 五、(10 分)
  1. 解释冷变形金属加热时回复、再结晶的过程及特点。
  2. 已知 Cu-30% Zn 合金的再结晶激活能为 250 kJ/mol，此合金在 400℃ 的恒温下完成再结晶需要 1h，试求此合金在 390℃ 的恒温下完成再结晶需要多少小时。
- 六、(15 分) 沿铝 (Al) 单晶的  $[12\bar{3}]$  方向拉伸，使其发生塑性变形，请确定：
  1. 画出立方晶系  $[00\bar{1}]$  的标准投影，并由此确定初始滑移系统。
  2. 转动规律和转轴。

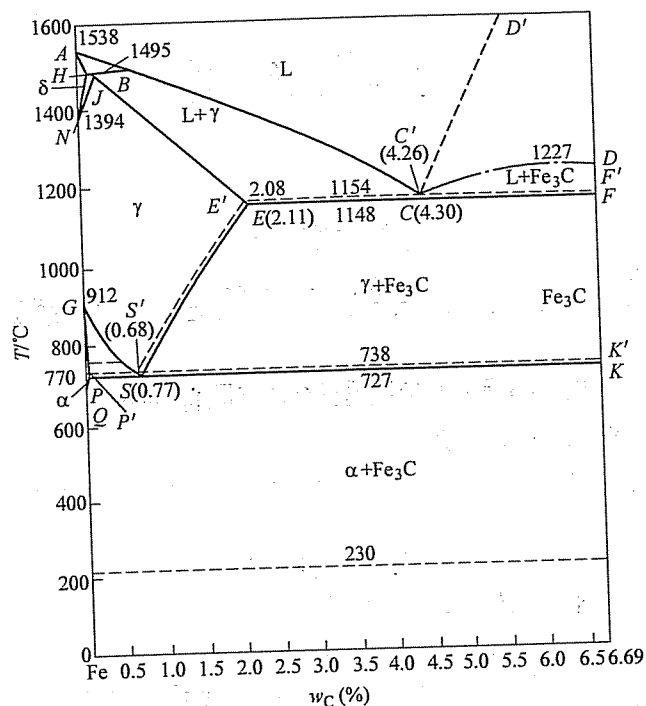


图 1-1 第四题图

3. 双滑移系统。
4. 双滑移开始时晶体的取向和切变量。
5. 双滑移过程中晶体的转动规律和转轴。
6. 晶体的最终取向。

七、(15 分) 有一面心立方单晶体，在 (111) 面滑移的柏氏矢量为  $\frac{a}{2}$  [101] 的右螺型位错，与在 (111) 面上滑移的柏氏矢量为  $\frac{a}{2}$  [011] 的另一右螺型位错相遇于此两滑移面交线，并形成一个新的全位错。

1. 说明新生的全位错属哪类位错，该位错是否滑移，为什么？
2. 若沿 [010] 晶向施加大小为 17.2 MPa 的拉应力，试计算该新生全位错单位长度的受力大小，并说明方向（设点阵常数为  $a=0.2\text{nm}$ ）。

## 标准答案

一、本题要求证明的结论是，在立方晶系中相同指数的晶向与晶面相互垂

直。根据晶面指数的确定规则，(hkl) 晶面 ABC 在 a、b、c 坐标轴上的截距分别是  $\frac{a}{h}$ 、 $\frac{b}{k}$ 、 $\frac{c}{l}$ ；根据晶面指数的确定规则，[hkl] 晶向  $L = ha + kb + lc$ ，如图 1-2 所示。

$$AB = -\frac{a}{h} + \frac{b}{k}$$

$$AC = -\frac{a}{h} + \frac{c}{l}$$

利用立方晶系中  $a=b=c$ ， $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$  的特点；因此有

$$L \cdot AB = (ha + kb + lc) \left( -\frac{a}{h} + \frac{b}{k} \right) = -a^2 + b^2 = 0$$

$$L \cdot AC = (ha + kb + lc) \left( -\frac{a}{h} + \frac{c}{l} \right) = -a^2 + c^2 = 0$$

由于 L 与 ABC 面上相交的两条直线垂直，所以 L 垂直于 ABC 面，从而在立方晶系中有  $[hkl] \perp (hkl)$ 。

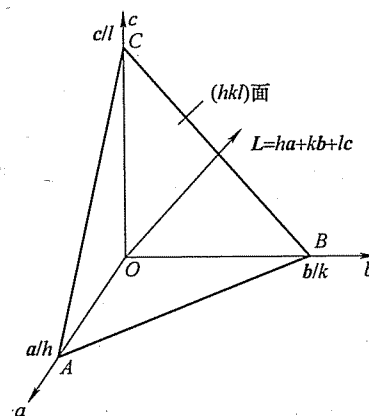


图 1-2 第一题解答图

二、金刚石、NaCl、闪锌矿、纤锌矿、石墨的晶胞分别如图 1-3 所示。

三、如图 1-4 所示，引入两个平行的坐标系：一个是固定坐标系  $Oxy$ ；一个是坐落在晶面上同晶面一起运动的坐标系  $O'x'y'$ 。  $D_A$  和  $D_B$  分别表示组元 A 和 B 的分扩散系数，D 为综合扩散系数。

相对于动坐标系，A、B 的本征扩散通量分别是  $J_{A1}$ 、 $J_{B1}$ ，即

$$J_{A1} = -D_A \frac{\partial C_A}{\partial x}$$

$$J_{B1} = -D_B \frac{\partial C_B}{\partial x}$$



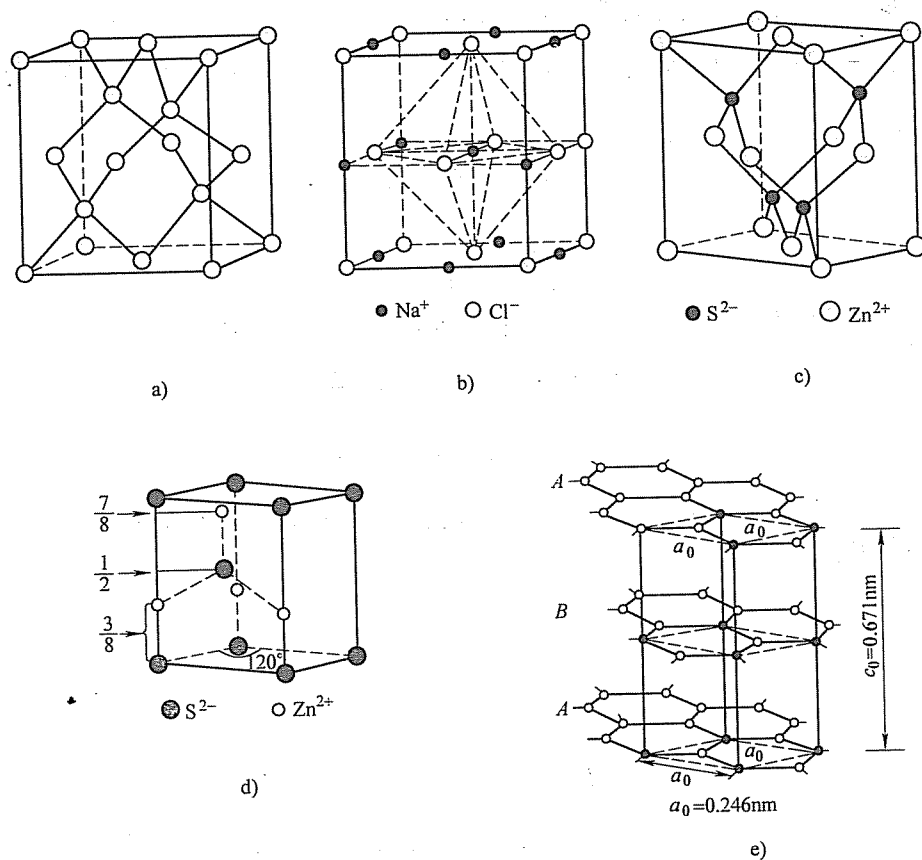


图 1-3 第二题解答图

a) 金刚石 b) NaCl c) 闪锌矿 (立方 ZnS) d) 纤锌矿 (六方 ZnS) e) 石墨

由于  $J_{B1} > J_{A1}$ , 高熔点一侧有流体静压力, 则各晶面连同动坐标系会沿  $x$  方向平移, 相对于固定坐标系, 增加了方向相同的两个附加通量  $C_A v$  和  $C_B v$ , 所以对固定坐标系, 总通量为

$$J_A = J_{A1} + C_A v = -D_A \frac{\partial C_A}{\partial x} + C_A v = -D \frac{\partial C_A}{\partial x} \quad (1-1)$$

$$J_B = J_{B1} + C_B v = -D_B \frac{\partial C_B}{\partial x} + C_B v = -D \frac{\partial C_B}{\partial x} \quad (1-2)$$

式中,  $v$  为  $x$  处晶面的平移速度;  $C_A$ 、 $C_B$  分别为  $x$  处  $A$  组元和  $B$  组元的浓度。式 (1-1) 和式 (1-2) 后面等号成立的依据为非克第一定律。

根据扩散中晶体各点密度不变的条件, 有

$$C_A(x) + C_B(x) = \text{常数}$$

所以

$$\frac{\partial C_A}{\partial x} = -\frac{\partial C_B}{\partial x}$$

消去  $v$ , 得

$$(C_A D_B + C_B D_A) \frac{\partial C_A}{\partial x} = D(C_A + C_B) \frac{\partial C_A}{\partial x}$$

$$\frac{C_A}{C_A + C_B} D_B + \frac{C_B}{C_A + C_B} D_A = D$$

即

$$x_A D_B + x_B D_A = D$$

式中,  $x_A$  和  $x_B$  分别是  $A$ 、 $B$  组元在合金中的摩尔分数。

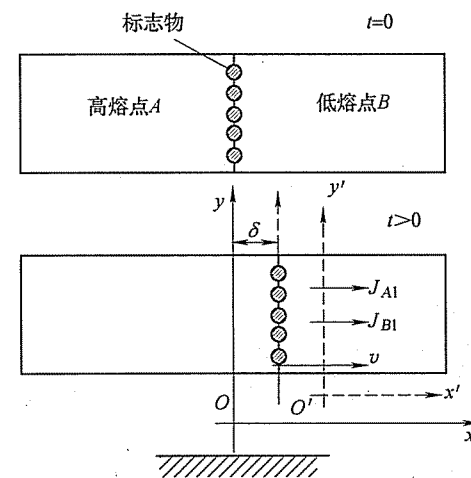


图 1-4 第三题解答图

四、

- |          |       |   |                |
|----------|-------|---|----------------|
| 1. $HJB$ | 1495℃ | $L_{0.53} + \delta_{0.09} \rightarrow \gamma$       | 包晶             |
| $E'C'F'$ | 1154℃ | $L_{4.26} \rightarrow \gamma_{2.08} + C$            | 共晶             |
| $ECF$    | 1148℃ | $L_{4.3} \rightarrow \gamma_{2.11} + Fe_3C_{II}$    | 共晶 (莱氏体 $Ld$ ) |
| $P'S'K'$ | 738℃  | $L_{0.68} \rightarrow \alpha_{0.0218} + C (G)$      | 共析             |
| $PSK$    | 727℃  | $\gamma_{0.77} \rightarrow \alpha_{0.0218} + Fe_3C$ | 共析             |

2. 室温下的平衡组织如图 1-5 所示。

$$w_{Fe_3C} = \frac{1.2 - 0.77}{6.69 - 0.77} \times 100\% = 7.26\%$$

3. 所发生的三相平衡反应和两相平衡反应如图 1-6 所示。

有二次渗碳体, 百分数为

$$w_{Fe_3C_{II}} = \frac{4.3 - 3.5}{4.3 - 2.11} \times \frac{2.11 - 0.77}{6.69 - 0.77} \times 100\% = 8.3\%$$

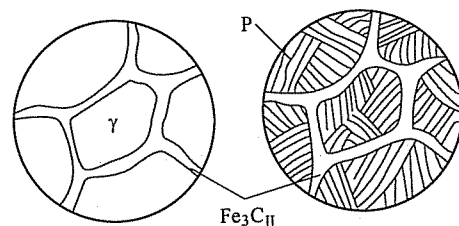


图 1-5 第四题第 2 小题解答图

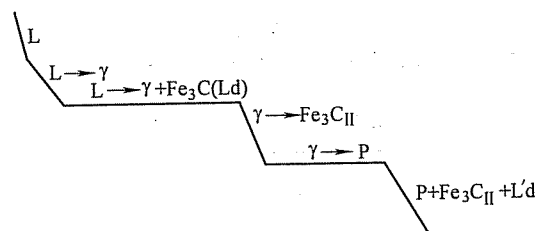


图 1-6 第四题第 3 小题解答图

## 五、

1. 冷变形金属加热时，各自特点如下：

(1) 回复过程的特征

① 回复过程组织不发生变化，仍保持变形状态伸长的晶粒。

② 回复过程使变形引起的宏观一类应力全部消除，微观二类应力大部分消除。

③ 回复过程中一般力学性能变化不大，硬度、强度仅稍有降低，塑性稍有提高，某些物理性能有较大变化，电阻率显著降低，密度增大。

④ 变形储能在回复阶段部分释放。

(2) 再结晶过程的特征

① 组织发生变化，由冷变形的伸长晶粒变为新的等轴晶粒。

② 力学性能发生急剧变化，强度、硬度急剧降低，塑性提高，恢复至变形前的状态。

③ 变形储能在再结晶过程中全部释放，三类应力（点阵畸变）消除，位错密度降低。

(3) 晶粒长大过程的特征

① 晶粒长大。

② 引起一些性能变化，如强度、塑性、韧性下降。

③ 伴随晶粒长大，还发生其他结构上的变化，如再结晶组织。

2. 由公式有 
$$\frac{t_2}{t_1} = \exp \left[ -\frac{Q}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \right]$$

$$= \exp \left[ -\frac{250 \times 10^3}{8.314} \times \left( \frac{1}{400 + 273} - \frac{1}{390 + 273} \right) \right]$$

$$= 1.962$$

所以

$$t_2 = t_1 \times 1.962 = 1.962h$$

## 六、

1. 单晶试棒沿轴向进行拉伸，所以拉力  $F = [12\bar{3}]$ 。

该力  $F$  在立方晶系  $[00\bar{1}]$  标准投影（见图 1-7）上的极点处于  $(00\bar{1}) - (01\bar{1}) - (11\bar{1})$  三角形中。

因为 FCC 晶体的滑移系统为  $\{111\} \langle \bar{1}10 \rangle$ ，所以根据映像规则，可知初始滑移系统为： $(\bar{1}11) [10\bar{1}]$ 。

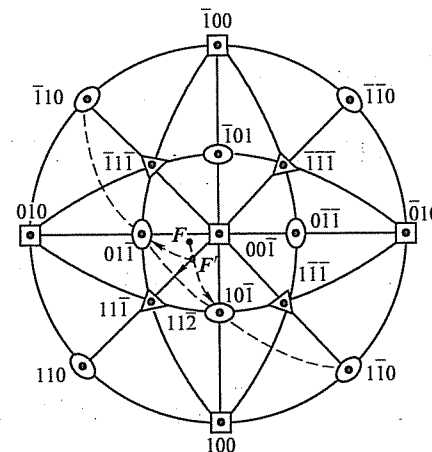


图 1-7 第六题第 1 小题解答图

2. 单滑移时试样轴应转向  $[10\bar{1}]$ ，转轴为  $[12\bar{3}] \times [10\bar{1}] = [\bar{1}\bar{1}\bar{1}]$

3. 当  $F$  点转到  $F'$  点时，发生双滑移。双滑移系统为：

$$(\bar{1}11) [10\bar{1}] + (1\bar{1}\bar{1}) [01\bar{1}]$$

4.  $\gamma$  可按下式计算：
$$L = l + \gamma(l \cdot n)b \quad (1-3)$$

令  $l = [12\bar{3}]$ ,  $L = [vw\bar{w}]$ ,  $n = \frac{[\bar{1}\bar{1}\bar{1}]}{\sqrt{3}}$ ,  $b = \frac{[10\bar{1}]}{\sqrt{2}}$ , 代入式 (1-3) 得

$$[vw\bar{w}] = [12\bar{3}] + \gamma \left( [12\bar{3}] \cdot \frac{[\bar{1}\bar{1}\bar{1}]}{\sqrt{3}} \right) \frac{[10\bar{1}]}{\sqrt{2}} = [12\bar{3}] + \gamma \frac{4}{\sqrt{6}} [10\bar{1}]$$

所以

$$v = 1 + \gamma \frac{4}{\sqrt{6}} = 2, \quad w = -3 - \gamma \frac{4}{\sqrt{6}}$$

解得  $v=2, w=-4, \gamma=\frac{\sqrt{6}}{4}$

即双滑移开始时的取向是  $[112]$ , 切变量是  $\frac{\sqrt{6}}{4}$ 。

5. 双滑移时试样轴一方面转向  $[10\bar{1}]$ , 其转轴为  $n_1 = [112] \times [10\bar{1}] = [\bar{1}\bar{1}\bar{1}]$ ; 一方面又转向  $[01\bar{1}]$ , 其转轴为  $n_2 = [112] \times [01\bar{1}] = [111]$ 。故合成轴为  $n = n_1 + n_2 = [000]$ , 即晶体取向不再改变, 只是被拉长。

6. 晶体的最终取向就是  $[112]$ 。

七、

1. 由于位错线为两滑移面交线, 故位错线为

$$\zeta = n_1 \times n_2 = \begin{vmatrix} i & j & k \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{1} & 1 \end{vmatrix} = [1 \ 0 \ \bar{1}]$$

式中,  $n_1, n_2$  分别为两滑移面法矢量。

可见, 位错线与柏氏矢量既不平行, 也不垂直, 该新生位错为混合型位错。

已知该新生位错的位错线及柏氏矢量, 可由它们叉乘得到新生位错滑移面的法向量, 即

$$n_3 = \zeta \times b = \begin{vmatrix} i & j & k \\ 1 & 0 & \bar{1} \\ 1 & 1 & 0 \end{vmatrix} = [1 \ \bar{1} \ 1]$$

该位错的滑移面为  $(1 \ \bar{1} \ 1)$ 。

因该滑移面为面心立方密排面, 故该位错可以滑移。(1分)

$$2. \quad \cos\varphi = \frac{|n_3 \cdot F|}{|n_3| |F|} = \frac{1}{\sqrt{1^2 + (-1)^2 + 1^2} \times \sqrt{1^2}} = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

$$\cos\lambda = \frac{|b \cdot F|}{|b| |F|} = \frac{1}{\sqrt{1^2 + 1^2} \times \sqrt{1^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

根据 Schmid 定律, 作用在新生位错滑移面的滑移方向上的分切应力为

$$\tau_0 = \sigma \cos\varphi \cos\lambda = 17.2 \times \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ MPa} = 7.0 \text{ MPa}$$

所以, 作用在单位长度位错线上的力为

$$f = \tau b = \frac{a\tau_0}{\sqrt{2}} = \frac{0.2 \times 10^{-9} \times 7 \times 10^6}{\sqrt{2}} \text{ N/m} = 10^{-3} \text{ N/m}$$

其方向为垂直于位错线方向  $[10\bar{1}]$ , 指向未滑移区。

## 试 卷 二

### 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 (与物理化学或固体物理)

适用专业: 材料科学与工程

一、(每小题 5 分, 共 30 分)

1. 某著作中给出六方点阵  $\text{MoSi}_2$  的错误晶胞如图 2-1 所示。指出其错误所在, 画出一个正确的六方晶胞, 并给出  $a, c$  点阵常数的数值。

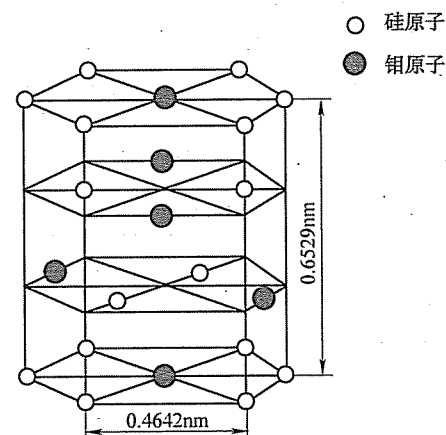


图 2-1 第一题第 1 小题图

2. 某刊物发表的论文中有这样的论述: “正方点阵  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  (410) 晶面和 (411) 晶面的衍射峰突出, 因此晶体生长沿  $\langle 410 \rangle$  和  $\langle 411 \rangle$  晶向生长较快”。指出其错误所在。

3. 由  $600^\circ\text{C}$  降温到  $300^\circ\text{C}$  时, 锆晶体中的空位平衡浓度降低了六个数量级。试计算锆晶体中的空位形成能 (玻耳兹曼常数  $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ )。

4. 分别解释柯氏气团 (Cottrell atmosphere) 和铃木气团 (Suzuki atmosphere) 在强化金属中的作用。

5. 什么是时效? 试说明 Al-4.5% Cu 合金中时效强化的原因。

6. 欧盟于 2006 年 7 月 1 日开始正式执行的 RoHS 指令 (现已成为法令) 要求禁止哪些有害物质? 其最高允许含量分别是多少? 替代有铅钎料的主要钎料系

统有哪些?

二、(15 分) 沿钨单晶 (BCC) 的棒轴  $[2\bar{1}3]$  方向拉伸, 使其发生塑性形变, 设钨单晶的滑移面为  $\{110\}$ , 请确定:

1. 初始滑移系统。
2. 双滑移系统。
3. 双滑移开始时的切变量  $\gamma$ 。
4. 滑移过程中的转动规律和转轴。
5. 试棒的最终取向 (假定试棒在达到稳定取向不发生断裂)。

三、(10 分) 有如图 2-2a 所示的位错线  $ABC$  及柏氏矢量  $b$ , 其中  $AB$  是极轴位错 (不动),  $MNPQ$  为位错  $BC$  段的滑移面。请分析在切应力  $\tau$  的作用下:

1. 在图 2-2a、b、c、d 四种情况下, 位错  $BC$ 、 $BC'$ 、 $BC''$ 、 $BC'''$  的受力及运动情况。
2. 达到动态平衡时, 位错线  $ABC$  会变成什么形状?
3. 位错线在扫动时对晶体的塑性变形会产生什么影响?

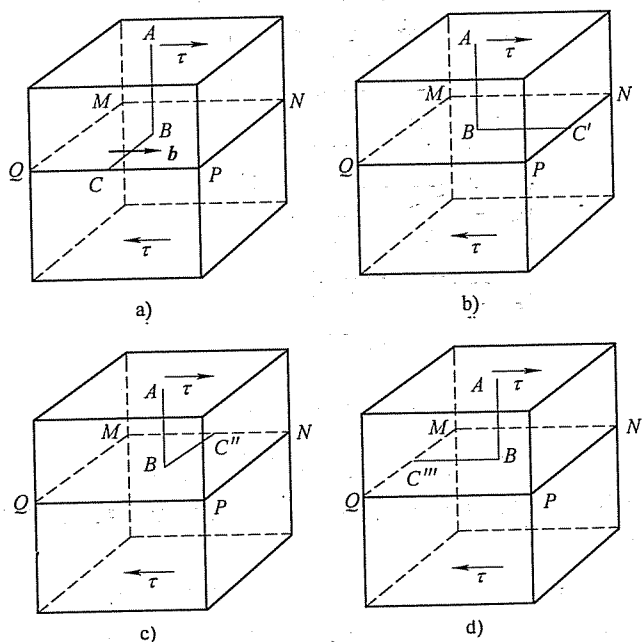


图 2-2 第三题图

四、(10 分) 欲将一批齿轮进行渗碳, 每炉装 500 件。在  $900^\circ\text{C}$  渗 10h 可以达到规定的深度。假定在  $900^\circ\text{C}$  渗碳每炉每小时生产成本为 1000 元, 而在  $1000^\circ\text{C}$  渗碳为 1500 元。问在哪一温度渗碳成本较低? (已知  $Q = 32900\text{cal/mol}$ ,  $R = 1.987\text{cal/mol} \cdot \text{K}$ ,  $1\text{cal} = 4.1868\text{J}$ )

五、(10 分)

1. 画出  $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$  相图。
2. 分析碳含量  $w_c = 1.1\%$  的铁碳合金从液相平衡凝固到室温时的转变过程, 画出组织转变示意图, 并计算出室温时各组织的相对含量。

## 标准答案

一、

1. 图 2-1 中钼原子与硅原子所示位置为非等同点, 不符合节点选取的规则。图 2-3 中虚线所示为正确的六方晶胞的  $(001)$  面。

其中

$$a = b = 2 \times 0.46242\text{nm} \times \sin 60^\circ = 2 \times 0.4642 \times \frac{\sqrt{3}}{2}\text{nm} = 0.8040\text{nm}$$

$$c = 0.6529\text{nm}$$

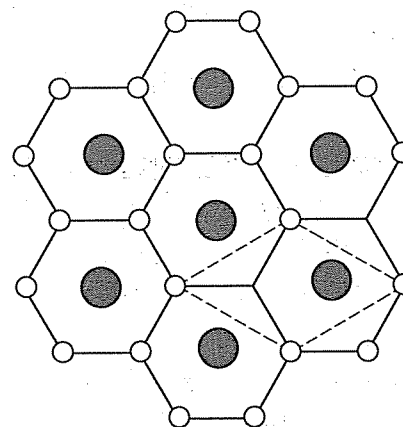


图 2-3 第一题第 1 小题解答图

2.  $[hkl] \perp (hkl)$  的关系, 只有立方点阵中才成立, 不能推广到其他点阵。在题目所给的正方 (四方) 点阵中,  $[410] \perp (410)$  只是特例,  $[411]$  不垂直于  $(411)$  才是一般情况。即使对于立方晶系来说,  $(410)$  晶面和  $(411)$  晶面的衍射峰突出, 只能说明多晶体中发生  $(410)$  晶面和  $(411)$  晶面的择优取向。按 Wulff 定理, 这与晶体生长沿  $\langle 410 \rangle$  和  $\langle 411 \rangle$  晶向生长较快并无因果关系。

3. Schottky 缺陷的平衡浓度公式为

$$\bar{C}_s = \exp \left( -\frac{\Delta G_s}{RT} \right) = \exp \left( -\frac{\Delta G_s}{kN_A T} \right)$$

因此有

$$\begin{aligned}\frac{\Delta G_s}{kN_A T} &= -\ln \bar{C}_s \\ \frac{\Delta G_s}{kN_A} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) &= \ln \bar{C}_{s_1} - \ln \bar{C}_{s_2} \\ \Delta G_s &= \frac{\ln \bar{C}_{s_1} - \ln \bar{C}_{s_2}}{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}} kN_A \\ &= \frac{6 \ln 10}{\frac{1}{300+273} - \frac{1}{600+273}} \times 8.31 \text{ J/mol} \\ &\approx 1.91432 \times 10^5 \text{ J/mol}\end{aligned}$$

4. 柯氏气团: BCC 晶体 (如碳钢) 中, C、N 等小尺寸原子优先分布于刃型位错的拉应力区, 对位错产生钉扎作用。要使位错运动, 必须从钉扎作用下撕脱出, 需要增加额外的应力, 从而提高了材料的强度。

铃木气团: FCC 晶体 (如不锈钢) 中, Ni、Cr 等合金元素优先分布于层错区, 降低层错能, 使扩展位错区扩大, 要使该扩展位错运动, 需要增加额外的应力, 从而提高了材料的强度。

5. 时效是指过饱和固溶体在室温或较高温度保留一段时间, 有第二相从基体中析出的过程。

时效析出过程受溶质扩散控制, 在沉淀过程中可能形成一系列亚稳相 (过渡相)。时效析出的原因: 一是当析出盘状亚稳相与母相有一定取向关系时, 会在基体中产生较大弹性应变, 可使合金明显强化; 二是在合金承受变形时, 由于弥散颗粒与位错的交互作用, 使合金得到强化。如果沉淀相颗粒可以变形, 位错切过时增加颗粒的表面能需要做功, 增大了位错运动的阻力而使合金得到强化。如果沉淀相颗粒强度高且与基体共格, 则位错线难以切过颗粒, 在外加应力的作用下将绕过颗粒, 留下位错环。合金要继续变形, 需要克服颗粒对位错线绕过时施加的应力, 因此需要进一步增大外加应力, 即合金获得了时效强化。

6. 禁用铅 (Pb, 0.1%)、汞 (Hg, 0.1%)、镉 (Cd, 0.01%)、六价铬 (Cr<sup>+6</sup>, 0.1%)、多溴联苯 (PPB, Polybrominated, 0.1%)、多溴二苯醚 (PBDE, Polybrominated Diphenyl Ether, 0.1%)。替代有铅钎料的主要有: Sn-Ag-Cu、Sn-Zn、Sn-Bi、Sn-In 系统。

二、

1. 铌单晶为 BCC 结构,  $[2\bar{1}3]$  位于取向三角形  $[001] - [\bar{1}\bar{1}1] - [101]$  中, 所以初始滑移系统为  $(011)[111]$ 。

2. 双滑移系统为  $(011)[111] - (011)[\bar{1}\bar{1}1]$ 。

3. 利用  $L = l + \gamma(l \cdot n)b$ , 设  $L = [u0w]$ , 得  $L = [2\bar{1}3] + 4\gamma[111]/\sqrt{6}$ 。由此可知  $u=3, w=4, \gamma=\sqrt{6}/4$ , 所以晶体取向为  $[304]$ , 切变量为  $\sqrt{6}/4$ 。

4. 双滑移时, 试样轴一方面转向  $[111]$ , 转轴  $n_1 = [304] \times [111] = [413]$ , 另一方面也转向  $[\bar{1}\bar{1}1]$ ; 转轴  $n_2 = [304] \times [\bar{1}\bar{1}1] = [413]$ ; 合成转轴为  $[020]$  即  $[010]$ , 所以双滑移后  $F$  点沿  $[001] - [101]$  边移动。

5. 设稳定时取向为  $[u'0w']$ , 要使  $n = [000]$ , 需有  $[u'0w'] \times ([111] + [\bar{1}\bar{1}1]) = [000]$ , 即  $u' = w'$ , 故稳定时最终取向为  $[101]$ 。

三、

1. 如图 2-4 所示, 图中  $v$  代表位错线  $BC$  运动方向, 也是受力方向。

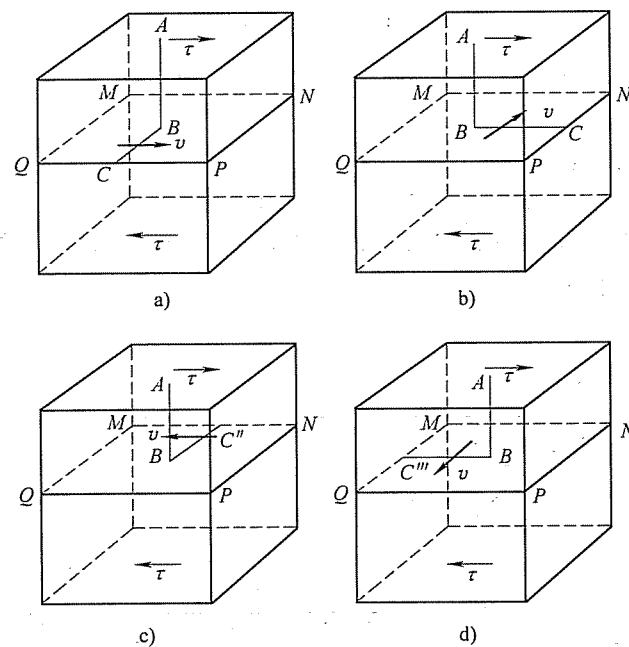


图 2-4 第三题第 1 小题解答图

2. 如图 2-5 所示。

3. 如图 2-6 所示。

四、

$$900^\circ\text{C} = 1173\text{K}, 1000^\circ\text{C} = 1273\text{K}$$

$$\text{由 } D_{1273}t_{1273} = D_{1173}t_{1173}$$

$$\text{可得 } t_{1273} = D_{1173}t_{1173}/D_{1273}$$

$$= 10 \exp \left[ -32900 / (1.987 \times 1173) \right] / \exp \left[ -32900 / (1.987 \times 1273) \right] \text{ h}$$

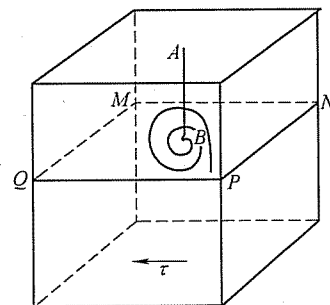


图 2-5 第三题第 2 小题解答图

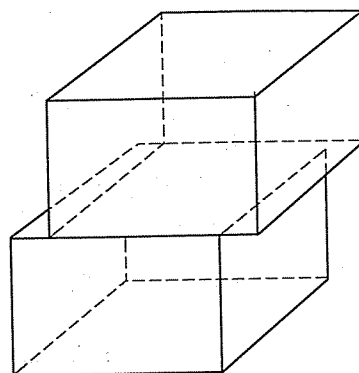


图 2-6 第三题第 3 小题解答图

$$\begin{aligned}
 &= 10 \times \exp(-14.1156) / \exp(-13.0068) \text{ h} \\
 &= 10 \times \exp(-1.1088) \text{ h} \\
 &= 3.299 \text{ h}
 \end{aligned}$$

900℃ 渗碳，一炉齿轮需要  $1000 \text{ 元/h} \times 10 \text{ h} = 10000 \text{ 元}$ 。

1000℃ 渗碳，一炉齿轮需要  $1500 \text{ 元/h} \times 3.299 \text{ h} = 4948.5 \text{ 元}$ 。因此，在 1000℃ 渗碳成本较低。

五、

1. 如图 2-7 所示。

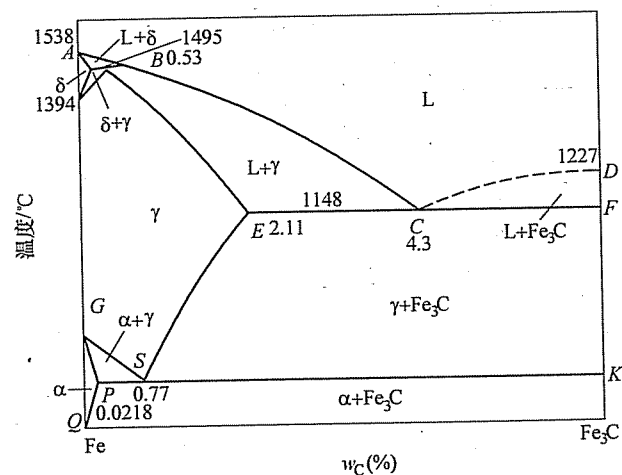


图 2-7 第五题第 1 小题解答图

2.  $w_C = 1.1\%$  的钢由液相冷却时先进入  $L + \gamma$  奥氏体两相区，形成枝晶状或等轴状  $\gamma$  奥氏体，然后进入奥氏体单相区；继续冷却到大约 760℃，沿晶界析出二次渗碳体，在 727℃ 剩余的奥氏体转变为珠光体，最后的组织是珠光体 + 网状渗

碳体（见图 2-8）。

$$\text{珠光体相对含量} = \frac{6.67 - 1.1}{6.67 - 0.77} \times 100\% = 94.4\%$$

$$\text{网状渗碳体相对含量} = \frac{1.1 - 0.77}{6.67 - 0.77} \times 100\% = 5.6\%$$

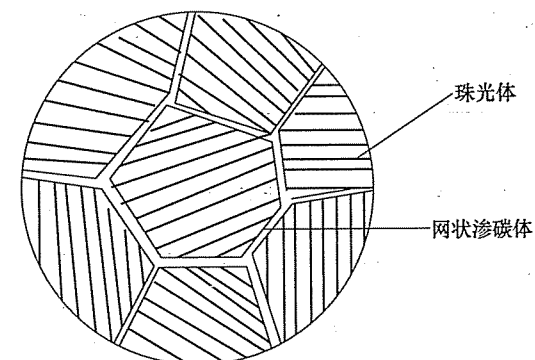


图 2-8 第五题第 2 小题解答图

## 试 卷 三

## 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（与物理化学或固体物理）

适用专业：材料科学与工程

一、(5 分) 分别写出图 3-1 所示 5 种晶体结构所属的布拉维点阵类型。

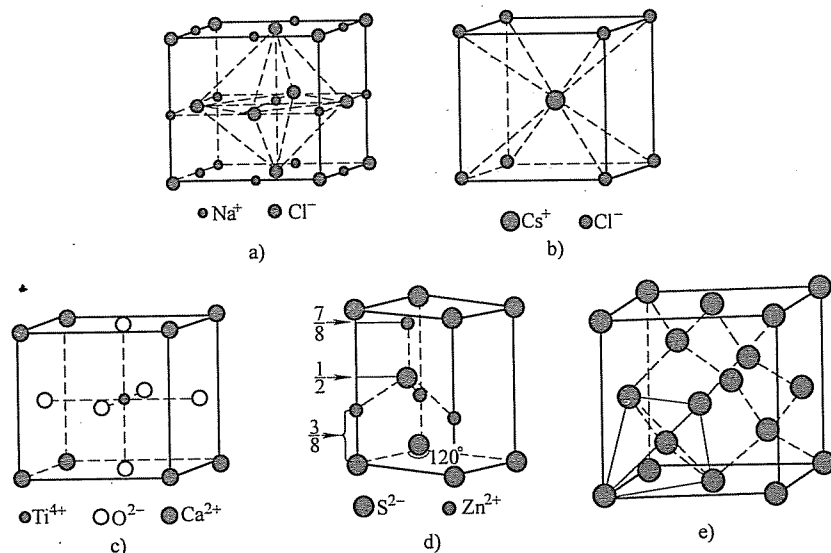


图 3-1 第一题图

a) NaCl 的晶体结构 b) CsCl 的晶体结构 c)  $\text{CaTiO}_3$  的晶体结构d) 纤锌矿 ( $\text{ZnS}$ ) 的晶体结构 e) 金刚石的晶体结构

二、(5 分) 在图 3-2 所示的应力-应变曲线中, 分别指出 (标出对应的纵坐标或横坐标的位置即可):

1. 弹性极限 (elastic limit)。
2. 条件屈服强度 (offset yield strength or yield strength)  $\sigma_{0.2}$ 。
3. 抗张强度 (tensile strength)。
4. 破坏强度 (breaking strength)。
5. 断裂延伸率 (elongation to failure)。
6. 弹性模量 (modulus of elasticity)。

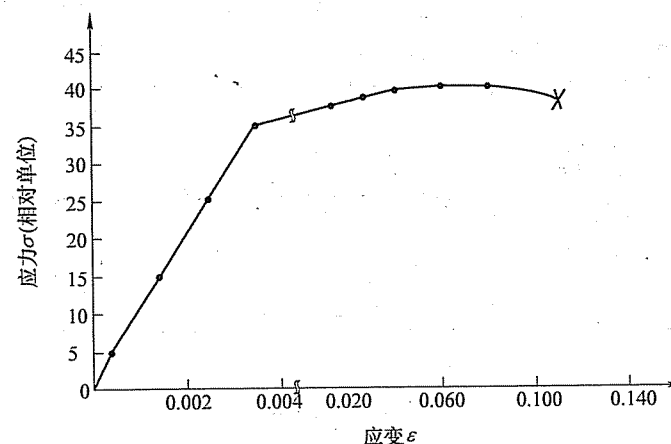


图 3-2 第二题图

三、(5 分) 在晶胞图中给出下列晶向上的单位向量长度 (即最短原子间距, 用点阵常数表示):

FCC 晶体中:  $[110]$  \_\_\_\_\_;  $[1\bar{1}2]$  \_\_\_\_\_。BCC 晶体中:  $[111]$  \_\_\_\_\_;  $[\bar{1}12]$  \_\_\_\_\_。HCP 晶体中:  $[10\bar{1}0]$  \_\_\_\_\_;  $[\bar{1}011]$  \_\_\_\_\_。四、(15 分) 有一 BCC 单晶试棒, 棒轴为  $[123]$ , 滑移面为  $\{110\}$ , 现沿棒轴方向拉伸, 请分析:

1. 初始滑移系统。
2. 双滑移系统。
3. 开始双滑移时的切变量  $\gamma$ 。
4. 滑移过程中的转动规律和转轴。
5. 试棒的最终取向 (假定试棒在达到稳定取向前不断裂)。

五、(5 分) 分析图 3-3 位错环 ABCDA 的性质, 在切应力  $\tau$  的作用下, 位错及晶体将分别如何运动? (画出位错环运动过程中位错环及晶体形状的变化)六、(10 分) 假设将纯铁工件在  $800^\circ\text{C}$  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。

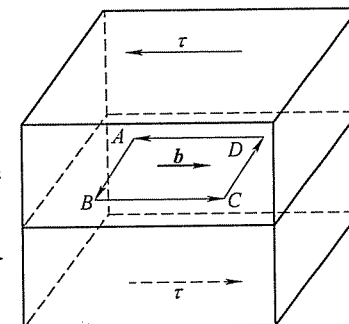
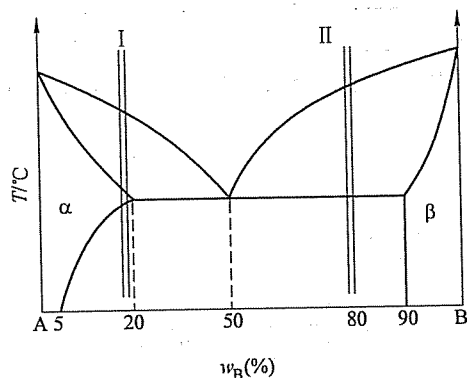


图 3-3 第五题图

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



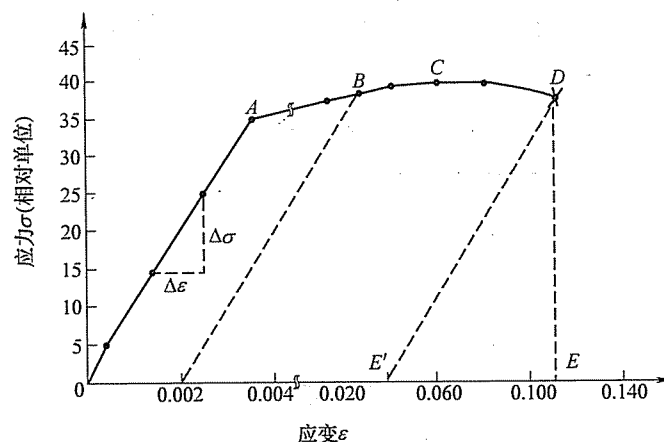
## 标准答案

—

a) 面心立方; 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、如图 3-6 所示。

1.  $A$  点对应的纵坐标为弹性极限 (elastic limit)。
2.  $B$  点对应的纵坐标为条件屈服强度  $\sigma_{0.2}$  (offset yield strength or yield strength)。
3.  $C$  点 (应力-应变曲线最高点) 对应的纵坐标为抗张强度 (tensile strength)。
4.  $D$  点对应的纵坐标为破坏强度 (breaking strength)。
5.  $E$  点或  $E'$  对应的横坐标为断裂延伸率 (elongation to failure)。
6.  $\frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$  = 弹性模量 (modulus of elasticity)。



三、如图 3-7 所示。

四、如图 3-8 所示。

1. 棒轴  $[\bar{1}23]$  位于取向三角形  $[001] - [0\bar{1}1] - [\bar{1}11]$  中, BCC 的滑移系统为  $\{110\} \langle \bar{1}11 \rangle$ 。

初始滑移系统:  $(101) [\bar{1} \bar{1} 1]$

2. 双滑移系统:  $(101) [\bar{1} \bar{1}1] + (\bar{1}01) [1\bar{1}1]$

3. 利用  $L = l + \gamma (l \cdot n) b$

$$\text{得} [uvw] = [\bar{1}2\bar{3}] + \gamma[\bar{1}2\bar{3}] \cdot \frac{[\bar{1}01][\bar{1}\bar{1}1]}{\sqrt{2}\sqrt{3}}$$

双滑移开始时, 有

$$[0vw] = [\bar{1}\bar{2}\bar{3}] + \gamma[\bar{1}\bar{2}\bar{3}] \cdot \frac{[101]}{\sqrt{2}} \frac{[\bar{1}\bar{1}\bar{1}]}{\sqrt{3}}$$

$$[0vw] = [\bar{1}\bar{2}3] + \gamma \frac{1+3}{\sqrt{6}} [\bar{1}\bar{1}\bar{1}]$$



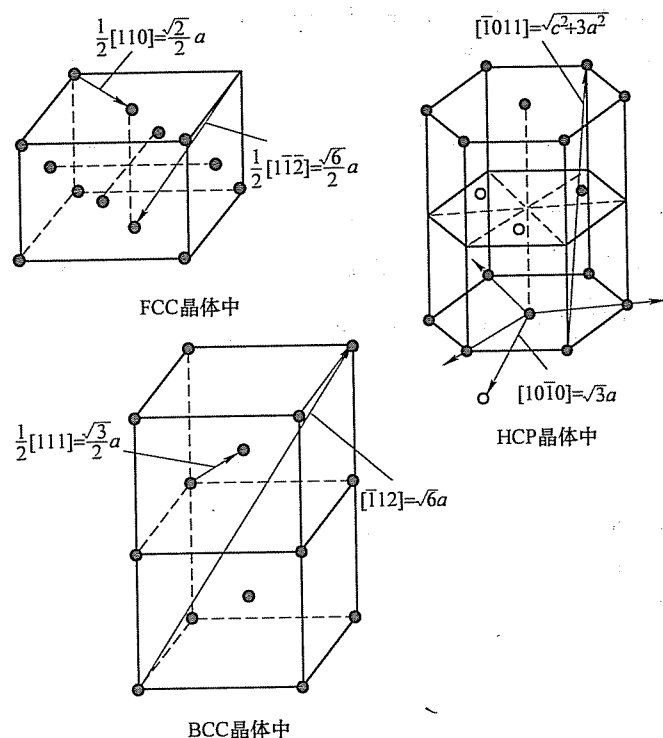


图 3-7 第三题解答图

$$= [123] + \frac{4\gamma}{\sqrt{6}} [\bar{1}\bar{1}1]$$

得：

$$\begin{cases} 0 = 1 - \frac{4\gamma}{\sqrt{6}} \\ v = -2 - \frac{4\gamma}{\sqrt{6}} \\ w = 3 + \frac{4\gamma}{\sqrt{6}} \end{cases} \begin{cases} \gamma = \frac{\sqrt{6}}{4} \\ v = -3 \\ w = 4 \end{cases}$$

所以，开始双滑移时的  $\gamma = \frac{\sqrt{6}}{4}$ 。

4. 单滑移时转轴为  $[123] \times [\bar{1}\bar{1}1] = [14\bar{3}]$ 。

双滑移时转轴为  $[100]$ 。

5. 试棒的最终取向为  $[011]$ 。

五、AB 为正刃型，CD 为负刃型；BC 为右螺型，DA 为左螺型。

位错环的运动及晶体形状的变化如图 3-9 所示。

六、

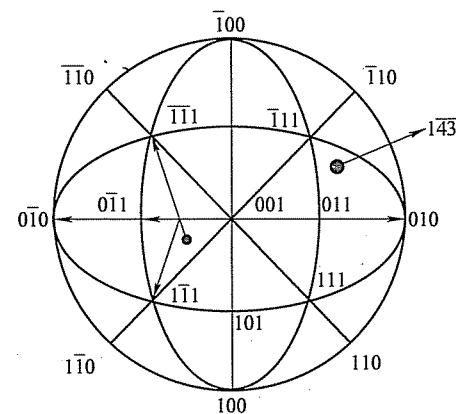
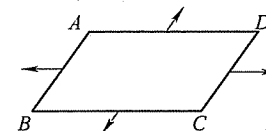
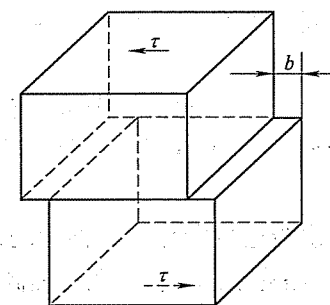


图 3-8 第四题解答图



位错环向外扩展



晶体形状变化

图 3-9 第五题解答图

1. 如图 3-10 所示。

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。在扩散中，一旦达到相图相分解线成分，便发生相变，浓度发生突变。即在二元系扩散系统中，只存在彼此相连的单相区，单相区的浓度按抛物线规律下降，而不存在平衡共存的两相区。

七、

1. 图 3-4a 所对应的为加工组织，其特点为：

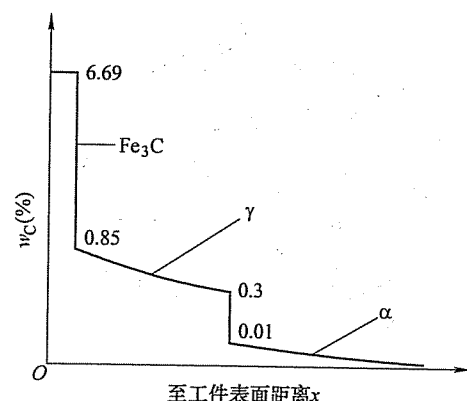


图 3-10 第六题第 1 小题解答图

(1) 存在变形储能和内应力, 大量非平衡点缺陷, 高位错密度。

(2) 拉长的晶粒和晶界。

(3) 变形织构。

(4) 高强度, 高硬度, 较低的延展性。

2. 图 3-4b 所对应的为回复过程, 其特点为:

(1) 回复的驱动力为变形储能。

(2) 回复过程中变形引起的宏观 (一类) 内应力全部消除, 微观 (二类) 内应力大部分消除。

(3) 回复过程组织不发生变化, 仍保持变形状态伸长的晶粒; 但空位浓度下降至平衡浓度, 电阻率下降, 晶体密度增加; 同一滑移面异号位错相互抵消造成位错密度略有下降。

(4) 高温回复阶段刃型位错通过滑移、攀移运动发生多边形过程, 造成加工硬化现象保留, 强度、硬度略有下降, 塑性稍有提高。

3. 图 3-4c 所对应的为再结晶过程, 其特点为:

(1) 变形储能全部释放, 点阵畸变 (三类内应力) 消除。

(2) 组织发生变化, 由冷变形的伸长晶粒变为新的等轴晶粒。

(3) 伴随再结晶过程原子的重新排列, 位错密度大大降低, 变形过程所产生的复杂位错交互作用消失, 加工硬化现象消失。

(4) 力学性能发生急剧变化, 强度、硬度急剧降低, 塑性提高, 恢复至变形前状态。

4. 图 3-4d 所对应的为晶粒长大过程, 其特点为:

(1) 晶粒长大的驱动力是界面能的降低。

(2) 晶粒长大是大晶粒吞并小晶粒的过程。

(3) 引起一些性能变化, 如强度、塑性、韧性下降。

(4) 伴随晶粒长大, 还发生其他结构上的变化, 如再结晶结构等。

八、

1. 合金 I、II 的平衡结晶过程及冷却曲线分别如图 3-11a 和 b 所示。

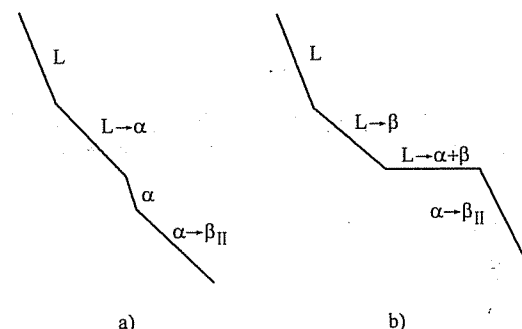


图 3-11 第八题第 1 小题解答图

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

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

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

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

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

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

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

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

3. 设所求合金成分为  $x$

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

$$x = 52\%$$

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

## 西南交通大学

## 试 卷 四

## 2007 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目: 材料科学基础

适用专业: 材料科学与工程

## 一、(每空 1 分, 共 30 分) 填空题

1. 面心立方晶体的最密排面是 (1), 最密排方向是 (2); 体心立方晶体的最密排面是 (3), 最密排方向是 (4); 密排六方晶体的最密排面是 (5), 最密排方向是 (6)。

2. 较细的金属比晶粒较粗的同种金属有 (7) 的强度和硬度及 (8) 塑性和韧性, 这种现象称为 (9) 强化; 铸造工艺中细化晶粒的常用方法是 (10) 和 (11)。

3. 铁素体是碳在 (12) - Fe 中的 (13) 固溶体, 与纯铁相比, 其强度和硬度 (14), 塑性和韧性 (15), 这是由于 (16) 强化的结果。

4. 对于刃型位错线, 其柏氏矢量 (17) 于位错线, 其滑移运动方向 (18) 于柏氏矢量, 其攀移运动方向 (19) 于柏氏矢量; 对于螺型位错线, 其柏氏矢量 (20) 于位错线, 其滑移运动方向 (21) 于柏氏矢量, 其交滑移运动方向 (22) 于柏氏矢量。

5. 金属经冷塑性变形后, 其强度和硬度 (23), 塑性和韧性 (24), 这种现象称为 (25) 强化或 (26); 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 (27) 退火, 以提高其 (28); 而对于冷加工成形的零构件, 成形后应及时进行 (29) 退火, 以去除 (30), 防止零构件在使用中产生变形或开裂。

## 二、(共 16 分) 画图题

1. (5 分) 根据 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图, 铁碳合金中的渗碳体相可能存在有五种不同的形态, 按照形成温度由高到低, 依次是: 一次渗碳体, 共晶渗碳体, 二次渗碳

体, 共析渗碳体和三次渗碳体。请画出含有上述五种渗碳体的铁碳合金的组织示意图 (一种合金中可包含一种或多种形态的渗碳体), 并标明渗碳体组织的名称。

2. (5 分) 在立方晶胞内画出 (121)、(122) 晶面, 以及 [012]、[110]、[201] 晶向。

3. (6 分) 画出下列合金及其热处理后的室温组织:

(1) 共析钢的平衡组织 (2) 亚共晶白口铸铁

(3) T12 钢的平衡组织 (4) 20 钢的淬火组织

(5) 粒状珠光体 (6) 45 钢调质处理的组织

## 三、(共 20 分) 公式题

1. (每小题 5 分, 共 10 分) 给出下列各公式, 说明公式中各物理量的含义及单位:

(1) Hall-Petch 公式 (2) 晶界偏聚公式

2. (10 分) 推导在液相中均匀形成边长为  $a$  的立方体晶核的临界形核功  $\Delta G^*$  和临界尺寸  $a^*$  的表达式。

## 四、(共 35 分) 简答题

1. (15 分) 举例说明材料的基本强化形式有哪几种, 并说明其中三种的强化机制。

2. (10 分) 何为上坡扩散? 形成上坡扩散的热力学条件是什么?

3. (10 分) 请以 Al-4.5% Cu 合金为例, 说明时效过程及其性能 (硬度) 变化。

## 五、(共 49 分) 综合分析题

1. (20 分) A-B 二元合金相图如图 4-1 所示。在固相不扩散、液相完全混合的条件下, 水平放置的质量分数  $w_B = 40\%$  的 A-B 二元合金溶液从左至右定向凝固成长为  $L$  的横截面均匀的合金棒。

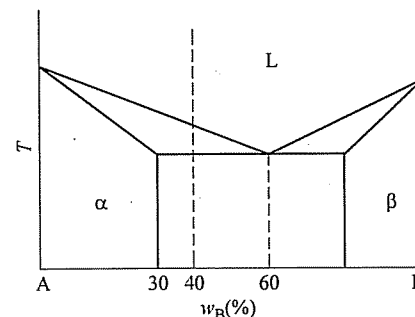


图 4-1 第五题第 1 小题图

(1) (10 分) 计算棒中单相  $\alpha$  固溶体段占棒长的分数  $x$ 。

附:  $C_L = C_0 (1-x)^{k_0-1}$ ;  $C_S = k_0 C_0 (1-x)^{k_0-1}$

式中,  $x = Z/L$  为已凝固的体积分数;  $C_L$ ,  $C_S$ ,  $C_0$  分别为液相、固相和合金的成分,  $k_0$  为平衡分配系数,  $k_0 = C_S/C_L$ 。

(2) (5 分) 画出整根棒的组织示意图。

(3) (5 分) 画出该棒中 B 原子的浓度分布曲线。

2. (20 分) 根据 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图, 完成下列工作:

(1) 画出 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图 (可以忽略高温铁素体相变及包晶转变)。

(2) 画出 45 钢 ( $w_C = 0.45\%$ , 下同) 从高温液态到室温的平衡冷却曲线 (不考虑铁素体的溶解度变化), 并标明相的变化过程。

(3) 示意画出高温液态到室温的组织转变过程图。

(4) 说明 45 钢在室温下的平衡组织, 给出每一种组织的成分, 计算各组织的相对重量。

3. (9 分) 根据共析碳钢的过冷奥氏体转变 C 曲线 (TTT 曲线), 如图 4-2 所示, 请写出经过图中所示 6 种不同工艺处理后材料的组织名称。

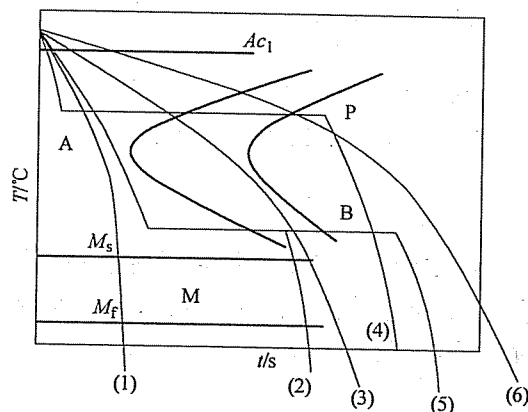


图 4-2 第五题第 3 小题图

## 标准答案

一、

1. (1)  $\{111\}$ ; (2)  $\langle \bar{1}10 \rangle$ ; (3)  $\{110\}$ ; (4)  $\langle \bar{1}11 \rangle$ ; (5)  $\{0001\}$ ; (6)  $\langle 11\bar{2}0 \rangle$

2. (7) 更高; (8) 更好; (9) 细晶; (10) 增大冷却速度; (11) 加形核

剂, 搅拌或振动

3. (12)  $\alpha$ ; (13) 间隙; (14) 更高; (15) 更低; (16) 固溶

4. (17) 垂直; (18) 平行; (19) 垂直; (20) 平行; (21) 垂直; (22) 垂直

5. (23) 升高; (24) 下降; (25) 形变; (26) 加工硬化; (27) 再结晶; (28) 塑性和韧性; (29) 去应力; (30) 残余内应力

二、

1. 如图 4-3 所示。

一次渗碳体是从液相中直接析出的, 只有在含碳量  $w_C > 4.30\%$  的铁碳合金 (白口铸铁) 中才能见到。其形貌是大块的板条 (过共晶白口铸铁中), 如图 4-3a 中白色条状组织所示。

二次渗碳体是过共析钢退火平衡组织, 是从奥氏体中析出的, 一般分布在原奥氏体晶界, 呈网状, 又称网状渗碳体, 如图 4-3b 所示。

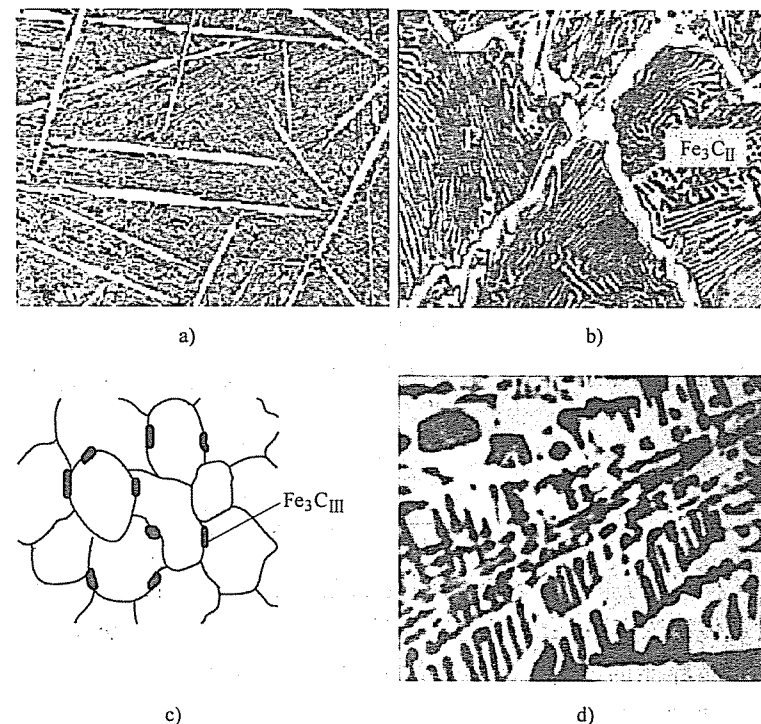


图 4-3 第二题第 1 小题解答图

a) 条状 Fe<sub>3</sub>C<sub>I</sub> b) 网状 Fe<sub>3</sub>C<sub>II</sub> 和 P 中的层状渗碳体

c) 铁素体晶界上的 Fe<sub>3</sub>C<sub>III</sub> d) 共晶渗碳体 (白色区域)

三次渗碳体是从铁素体中析出的,分布在铁素体晶界上,由于量较少,呈现断续蛇状分布。一般只在工业纯铁中可以看到,如图4-3c所示。

珠光体中的渗碳体叫做共析渗碳体,呈现为层片状形态,如图4-3b所示。

共晶莱氏体组织中的渗碳体叫做共晶渗碳体,是共晶组织的基体,呈现连续分布,如图4-3d所示。

2. 如图4-4所示。

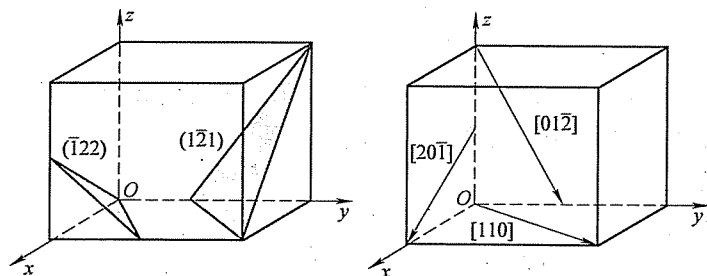


图4-4 第二题第2小题解答图

3. 如图4-5所示。

三、

1.

(1) Hall-Petch 公式

表示屈服强度与晶粒尺寸之间的关系。

$$\sigma_s = \sigma_0 + K \cdot d^{-\frac{1}{2}}$$

式中,  $\sigma_0$  (MPa)、 $K$  ( $\text{MPa} \cdot \text{m}^{\frac{1}{2}}$ ) 为常数;  $d$  为晶粒直径 (m);  $\sigma_s$  为屈服强度 (MPa)。

(2) 晶界偏聚公式

$$C_{gb} = C_0 \cdot \exp\left(\frac{-\Delta E}{kT}\right) = C_0 \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right)$$

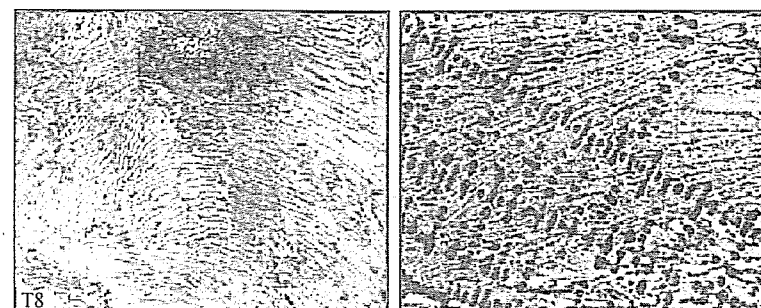
式中,  $C_{gb}$ 、 $C_0$  分别为晶界浓度和晶粒中心浓度 (两者同单位即可, 可以使用质量百分浓度或体积浓度);  $\Delta E$  为交互作用能 (eV);  $Q$  为 mole 交互作用能 (J), 由于偏聚引起晶界能的变化;  $R$  为气体常数 (J/K);  $k$  为玻尔兹曼常数 (eV/K);  $T$  为绝对温度 (K)。

2. 晶胚为正方形, 边长为  $a$ , 则

$$V = a^3 \quad A = 6a^2$$

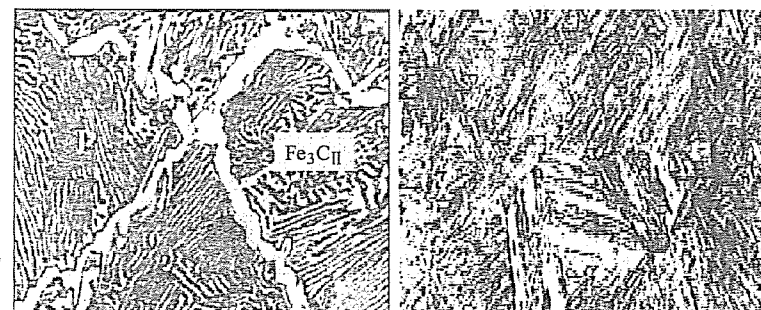
当过冷液体中出现一个晶胚时, 总的自由能变化  $\Delta G$  应为

$$\Delta G = V\Delta G_v + A\Delta G_a$$



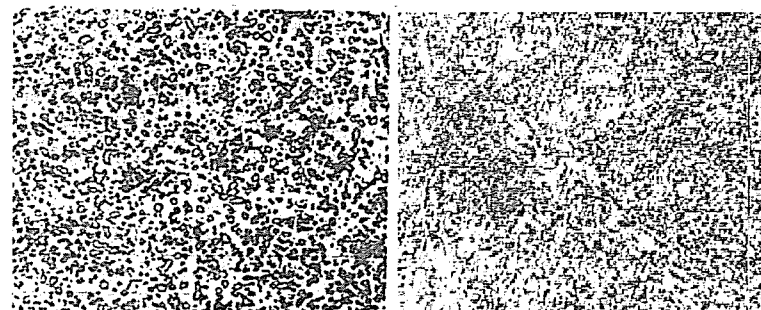
(1) 共析钢的平衡组织  
(全部层片状珠光体)

(2) 亚共晶白口铸铁  
(低温莱氏体和珠光体(黑色))



(3) T12钢的平衡组织  
(网状渗碳体+珠光体)

(4) 20钢的淬火组织  
(称板条状马氏体)



(5) 粒状珠光体  
(由铁素体和粒状碳化物组成)

(6) 45钢调质处理的组织  
(全部回火索氏体)

图4-5 第二题第3小题解答图

$$\Delta G = a^3 \Delta G_v + 6a^2 \Delta G_a \quad (4-1)$$

令

$$\frac{d\Delta G}{da} = 0$$

可求得

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

将  $a^*$  代入式 (4-1) 可求得

$$\Delta G^* = \frac{32\Delta G_A^3}{(\Delta G_V)^2}$$

#### 四、

1. 通过合金化、塑性变形和热处理等手段提高金属材料强度的方法, 称为材料的强化。其强化基本形式有: 固溶强化、形变强化、沉淀强化和弥散强化、细化晶粒强化等。

这些强化方式总的来说是向晶体内引入大量晶体缺陷, 如位错、点缺陷、异类原子、晶界、高度弥散的质点或不均匀性 (如偏聚) 等, 这些缺陷阻碍位错运动, 也会明显地提高材料强度。

固溶强化: 无论是代位原子或是填隙原子, 在条件合适的情况下, 都可能发生原子偏聚而形成气团。对代位点阵来说, 当溶质原子比溶剂原子的直径大时, 溶质原子有富集在刃型位错受胀区的趋向; 反之, 富集于受压区。填隙原子则总是向受胀区富集。这种靠扩散在位错附近富集的现象, 称为柯氏气团 (Cottrell atmosphere)。柯氏气团对位错有钉扎作用, 从而使强度提高。

沉淀强化和弥散强化: 过饱和固溶体随温度下降或在长时间保温过程中 (时效) 发生脱溶分解。时效过程往往是很复杂的, 如铝合金在时效过程中先产生 GP 区, 继而析出过渡相 ( $\theta''$  及  $\theta'$ ), 最后形成热力学稳定的平衡相 ( $\theta$ )。细小的沉淀物分散于基体之中, 阻碍着位错运动而产生强化作用, 这就是“沉淀强化”或“时效强化”。

加工硬化: 冷变形金属在塑性变形过程中形成大量位错, 这些位错部分成为不可动位错, 从而导致其对可动位错的阻力增大, 引起材料继续变形困难, 形成加工硬化或形变强化。

2. 物质从低浓度区向高浓度区扩散, 扩散的结果提高了浓度梯度。例如铝合金时效早期形成的富铜偏聚区, 以及某些合金固溶体的调幅分解形成的溶质原子富集区等, 这种扩散称为“上坡扩散”。上坡扩散的真正驱动力是化学位梯度, 而非浓度梯度, 虽然扩散导致浓度梯度上升, 但化学位梯度却是下降的。据此, 形成上坡扩散的热力学条件是

$$\frac{\partial^2 G}{\partial^2 x} < 0$$

3. 铝合金淬火后得到过饱和固溶体, 之后加热保温, 固溶体内会依次析出 GP 区,  $\theta''$ 、 $\theta'$ 、 $\theta$  相。GP 区的形成会使材料的硬度增加 (第一个时效峰), 长时间时效, GP 区溶解, 硬度下降。 $\theta''$  的形成使得硬度继续增加 (第二个时效峰)。当  $\theta''$  全部溶解转化为  $\theta'$  和  $\theta'$  转化为  $\theta$  后, 硬度开始下降。

#### 五、

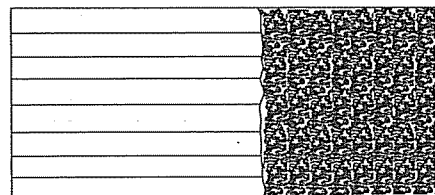
1.

$$(1) C_s = k_0 C_0 (1-x)^{k_0-1}$$

式中,  $C_s = 30\%$ ;  $k_0 = 30\%/60\% = 0.5$ ;  $C_0 = 40\%$ 。将值代入后得  $x = Z/L = 5/9$ 。

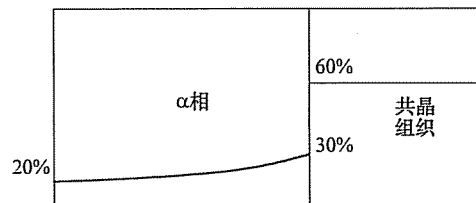
(2) 如图 4-6a 所示。

(3) 如图 4-6b 所示。



柱状  $\alpha$ 相 共晶组织

a)



b)

图 4-6 第五题第 1 小题解答图

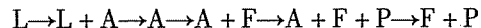
a) 棒的组织示意图 b) 棒中 B 原子的浓度分布曲线

2.

(1) 如图 4-7a 所示。

(2) 如图 4-7b 所示。

(3) 如图 4-7c 所示。



45 钢在液态到室温的冷却过程中将发生以下转变: 匀晶转变  $L \rightarrow L + A$ , 并全部转变为 A, 然后发生同素异晶转变  $A \rightarrow F + A$ , 在  $727^\circ\text{C}$  发生共析转变  $A \rightarrow P (F + C_m)$ 。

(4) 室温下 45 钢的组织为: 铁素体 F ( $w_c = 0.0218\%$ ) + 珠光体 P ( $F + \text{Fe}_3\text{C}$ ) ( $w_c = 0.77\%$ )。根据杠杆定律计算, 得

$$Q_F = \frac{0.77 - 0.45}{0.77 - 0.0218} \times 100\% = 42.77\%$$

$$Q_P = \frac{0.45 - 0.0218}{0.77 - 0.0218} \times 100\% = 57.23\%$$

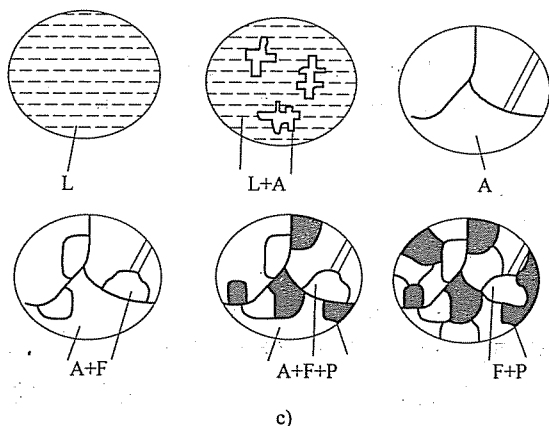
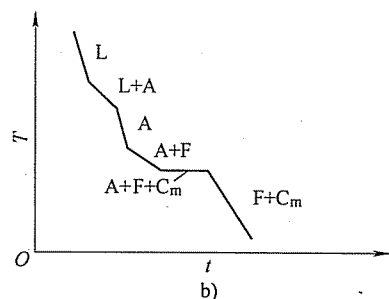
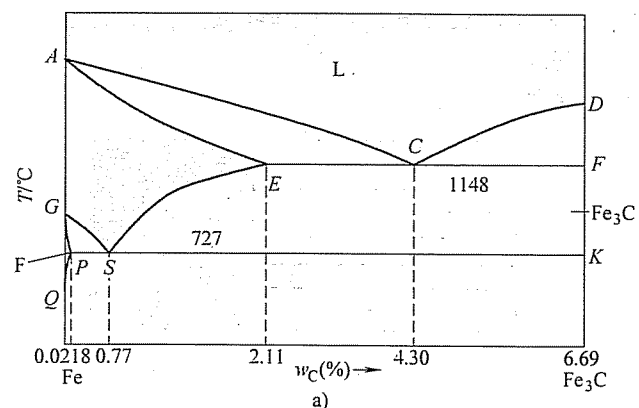


图 4-7 第五题第 2 小题解答图

a) Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图 b) 45 钢的平衡冷却曲线 c) 45 钢平衡冷却时的组织转变过程

3.

(1) 马氏体 + 残留奥氏体, M + A'。

(2) 马氏体 + 下贝氏体 + 残留奥氏体, M + B<sub>下</sub> + A'。

(3) 索氏体 + 马氏体 + 残留奥氏体, S + M + A'。

(4) 索氏体或珠光体, S。

(5) 下贝氏体, B<sub>下</sub>。

(6) 珠光体, P。

## 试 卷 五

### 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

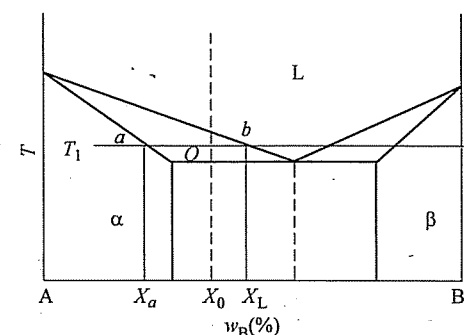


图 5-1 第三题第 3 小题图

- 一、(每小题 5 分, 共 25 分) 概念题
1. 弥散强化 (或沉淀强化)
  2. 再结晶退火
  3. 上坡扩散
  4. 晶体
  5. 一级相变
- 二、(共 18 分) 画图题
1. (9 分) 在立方晶胞内画出  $(1\bar{1}1)$ 、 $(\bar{1}22)$ 、 $(110)$  晶面, 以及  $[110]$ 、 $[010]$ 、 $[201]$  晶向。
  2. (每小题 1.5 分, 共 9 分) 画出下列合金及其热处理后的室温组织:
    - (1) 共析钢的平衡组织
    - (2) 共晶白口铸铁
    - (3) T12 钢完全奥氏体化后的淬火组织
    - (4) 45 钢的平衡组织
    - (5) 铝硅共晶组织
    - (6) 45 钢调质处理的组织
- 三、(共 30 分) 公式题
1. (每小题 5 分, 共 10 分) 给出下列各公式, 说明公式中各物理量的含义及单位:
    - (1) Hall-Petch 公式
    - (2) 一维形式的菲克第二定律
  2. (10 分) 推导在液相中均匀形成半径为  $r$  的奥氏体球形晶核的临界形核功  $\Delta G^*$  和临界尺寸  $r^*$  的表达式。
  3. (10 分) 根据图 5-1 所示, 推导在  $T_1$  温度下成分为  $X_0$  的合金在  $\alpha + L$  两相区时, 表示两相  $\alpha$  和  $L$  的相对量 (重量) 的杠杆定律 (图中成分均为重量百分数)。
- 四、(共 45 分) 简答题
1. (15 分) 以低碳钢的拉伸曲线为例, 运用位错理论说明屈服现象及加工硬化现象。
  2. (10 分) 请简单说明层错能高低对螺型位错交滑移的影响, 及其对金属加工硬化速率的影响。

3. (10 分) 请以 Al-4.5% Cu 合金为例, 说明 130℃ 时效过程 (组织转变) 及其性能 (硬度) 变化。

4. (10 分) 说明马氏体相变的主要特征。

五、(共 32 分) 综合分析题

1. (20 分) 根据 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图, 完成下列工作:

(1) 画出 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图 (可以忽略高温铁素体相变及包晶转变)。

(2) 画出 35 钢 ( $w_c = 0.35\%$ , 下同) 从高温液态到室温的平衡冷却曲线 (不考虑铁素体的溶解度变化), 并标明相的变化过程。

(3) 示意画出高温液态到室温的组织转变过程图。

(4) 说明 35 钢在室温下的平衡组织, 给出每一种组织的成分, 计算各组织的相对重量。

2. (12 分) 根据共析碳钢的过冷奥氏体转变 C 曲线 (TTT 曲线) (如图 5-2 所示), 请写出经过图中所示 6 种不同工艺处理后材料的组织名称以及硬度排列 (从高到低)。

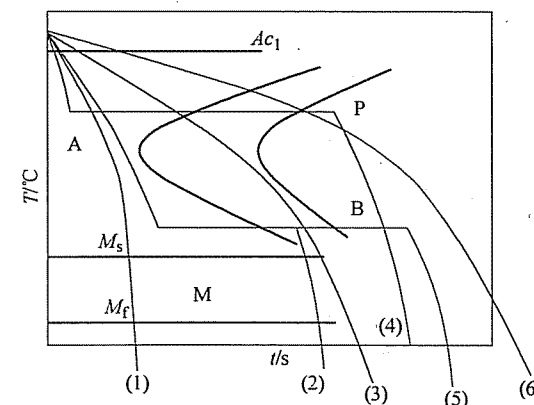


图 5-2 第五题第 2 小题图



## 标准答案

一、

1. 弥散强化 (或沉淀强化): 过饱和固溶体随温度下降或在长时间保温过程中 (时效) 发生脱溶分解。时效过程往往是很复杂的, 如铝合金在时效过程中先产生 GP 区, 继而析出过渡相 ( $\theta''$  及  $\theta'$ ), 最后形成热力学稳定的平衡相 ( $\theta$ )。细小的沉淀物分散于基体之中, 阻碍着位错运动而产生强化作用, 这就是“沉淀强化”或“时效强化”。为了提高金属, 特别是粉末冶金材料的强度, 往往人为地加入一些坚硬的细质点, 弥散于基体中, 称为弥散强化。

2. 再结晶退火: 经过塑性变形的金属, 在重新加热过程中, 当温度高于再结晶温度后, 形成低缺陷密度的新晶粒, 使其强度等性能恢复到变形前的水平, 但其相结构不变的过程。

3. 上坡扩散: 原子从低浓度向高浓度处的扩散, 扩散的驱动力是化学位梯度。

4. 晶体: 原子、分子或离子按照一定的规律周期性排列组成的固体。

5. 一级相变: 相变前后新旧两相的自由焓相等, 但其一阶偏导数不等的相变。

二、

1. 如图 5-3 所示。

2. 如图 5-4 所示。

三、

1.

(1) Hall-Petch 公式

表示屈服强度与晶粒尺寸之间的关系。

$$\sigma_s = \sigma_0 + K \cdot d^{-\frac{1}{2}}$$

式中,  $\sigma_0$  (MPa)、 $K$  ( $\text{MPa} \cdot \text{m}^{\frac{1}{2}}$ ) 为常数;  $d$  为晶粒直径 (m),  $\sigma_s$  为屈服强度 (MPa)。

$$(2) \quad \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

式中,  $C$  为浓度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  $D$  为扩散系数 ( $\text{cm}^2/\text{s}$ );  $t$  为时间 (s);  $x$  为距离 (cm)。

2. 晶胚为球形, 半径为  $r$ , 则

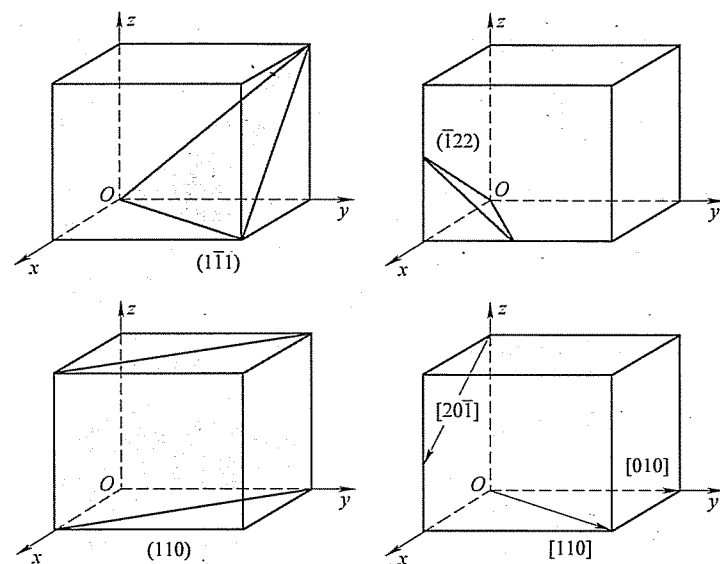


图 5-3 第二题第 1 小题解答图

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 \quad A = 4\pi r^2$$

当过冷液体中出现一个晶胚时, 总的自由能变化  $\Delta G$  应为

$$\Delta G = V\Delta G_V + A\Delta G_A$$

$$\Delta G = \frac{4}{3}\pi r^3 \Delta G_V + 4\pi r^2 \Delta G_A \quad (5-1)$$

$$\text{令 } \frac{d\Delta G}{dr} = 0, \text{ 可求得 } r^* = -\frac{2\Delta G_A}{\Delta G_V}$$

将  $r^*$  代入式 (5-1) 可求得

$$\Delta G^* = \frac{16\pi\Delta G_A^3}{3(\Delta G_V)^2}$$

3.

合金成分为  $X_0$  ( $O$  点), 当合金处于温度  $T_1$  时, 正处在两相区中, 因此两相的成分应该由相界线确定, 即液相的成分为  $X_L$  ( $b$  点), 固相的成分为  $X_a$  ( $a$  点), 若形成固相的质量分数为  $w_a$ , 则液相的质量分数为  $w_L$ 。

则有

$$w_a + w_L = w_0 = 1$$

因此

$$w_a X_a + w_L X_L = w_0 X_0 = X_0 \quad (5-2)$$

$$w_a + w_L = 1, \quad w_a = 1 - w_L \quad (5-3)$$

将式 (5-3) 代入式 (5-2) 中, 得到

$$(1 - w_L) X_a + w_L X_L = X_0$$

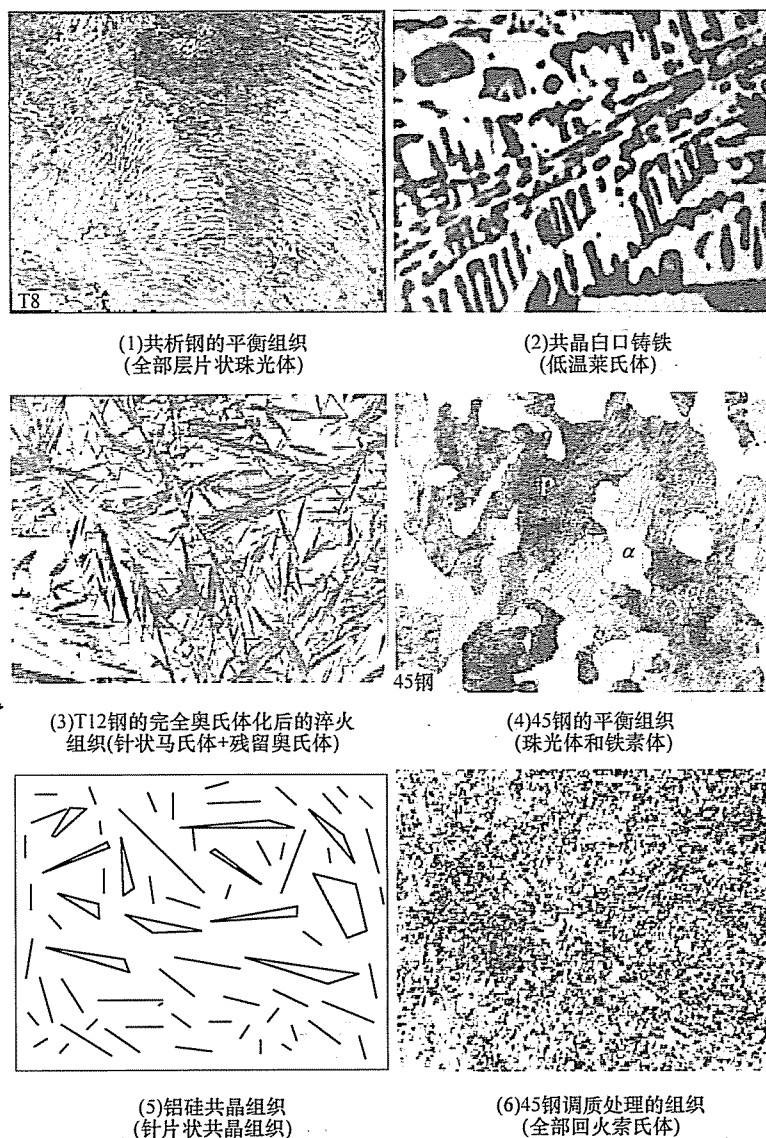


图 5-4 第二题第 2 小题解答图

$$(X_L - X_a) w_L = X_0 - X_a$$

$$\text{因此 } Q_L = \frac{w_L}{w_0} = \frac{X_0 - X_a}{X_L - X_a} \times 100\% ;$$

$$\text{同理可得 } Q_a = \frac{w_a}{w_0} = \frac{X_L - X_0}{X_L - X_a} \times 100\%$$

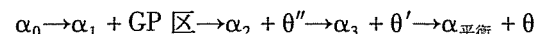
## 四、

1. 低碳钢的屈服是由于低碳钢中的碳是间隙原子，它与铁素体中的位错交互作用形成溶质原子气团，即所谓的柯氏气团。该气团对位错有钉扎作用，只有在较大的应力作用下，位错才能脱离溶质原子的钉扎，表现为应力-应变曲线上的上屈服点。而一旦位错脱钉，继续滑移，就不需要那么大应力了，表现为应力-应变曲线上的下屈服点和水平台阶。当继续变形时，由于位错数量的大大增加，导致应力又出现升高的现象，称为加工硬化现象。这是由于冷变形金属在塑性变形过程中形成大量位错，这些位错部分成为不可动位错，从而导致其对可动位错的阻力增大，引起材料继续变形困难，形成加工硬化或形变强化。

2. 对层错能高的金属而言，在变形过程中，全位错不易分解，在遇到阻碍时，可以通过交滑移继续运动，直到与其他位错相遇形成缠结；而层错能低的金属，由于其全位错易于分解为两个不全位错加层错的组态，难以交滑移，位错组态的运动性差。

对于螺型位错，通过交滑移，当同一滑移面上的两个异号（左、右）螺型位错相遇时，可以相互抵消，从而降低位错增殖速率。对于层错能低的金属，位错难以发生交滑移，因此变形过程中位错增殖速率大，加工硬化速率增大。

3. 铝合金淬火后得到过饱和固溶体，之后加热保温，固溶体内会依次析出 GP 区、 $\theta''$ 、 $\theta'$ 、 $\theta$  相。GP 区的形成会使材料的硬度增加（第一个时效峰），长时间时效，GP 区溶解，硬度下降。 $\theta''$  的形成使得硬度继续增加（第二个时效峰）。当  $\theta''$  全部溶解转化为  $\theta'$  和  $\theta'$  转化为  $\theta$  后，硬度开始下降。



其中， $\alpha_{\text{平衡}}$ 、 $\theta$  为平衡相；GP 区、 $\theta''$ 、 $\theta'$  为亚稳相。

4. 马氏体相变的基本特征表现为（主要为前两点）：

(1) 无扩散性。马氏体相变时无需原子的扩散，没有原子的混合与再混合过程。新相 M 与母相 A 的化学成分完全相同。

(2) 切变性。具体体现为：

① 相变的协调一致性： $A \rightarrow M$  (FCC  $\rightarrow$  BCC)。通过原子的整体协调运动（切变），晶体结构从 FCC 变成 BCC。原子的移动距离小于原子间距。

② 表面浮凸效应。在经过抛光的表面，若发生马氏体转变，在切变时，将产生表面浮凸效应。这是由于点阵形变在转变区域中产生形状改变。

③ 惯习面。M 总是在母相的特定晶面上析出，伴随着 M 相变的切变，一般与此晶面平行，此晶面为基体与 M 相所共有，称为惯习面。

④ 新相与母相之间存在确定晶体学位向关系。两种著名的取向关系（钢的 M 转变），即 K-S 关系和西山关系。实际材料的马氏体转变，一般与上述关系存在几度的偏差。

- (3) 马氏体相变时伴随有点阵畸变。  
 (4) 马氏体转变存在开始温度  $M_s$  和终了温度  $M_f$  (或  $M_z$ )。

### 五、

1. (1) 如图 5-5a 所示。

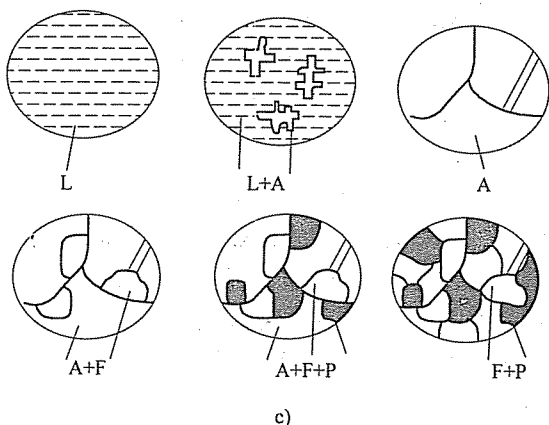
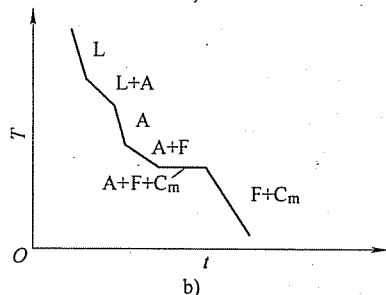
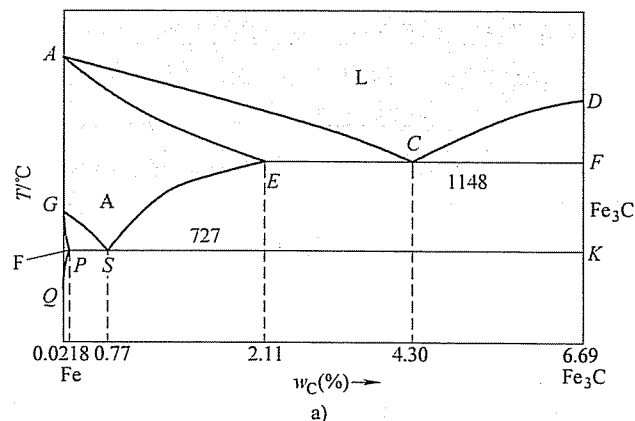
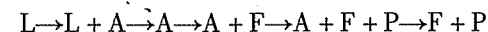


图 5-5 第五题第 1 小题解答图

a) Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图 b) 35 钢的平衡冷却曲线 c) 35 钢平衡冷却时的组织转变过程

- (2) 如图 5-5b 所示。

- (3) 如图 5-5c 所示。



35 钢在液态到室温的冷却过程中将发生以下转变：匀晶转变  $L \rightarrow L + A$ ，并全部转变为 A，然后发生同素异晶转变  $A \rightarrow F + A$ ，在 727°C 发生共析转变  $A \rightarrow P$  ( $F + C_m$ )。

(4) 室温下 35 钢的组织为：铁素体 F ( $w_c = 0.0218\%$ ) + 珠光体 P ( $F + Fe_3C$ ) ( $w_c = 0.77\%$ )。

根据杠杆定律计算可得

$$Q_\alpha = \frac{0.77 - 0.35}{0.77 - 0.0218} \times 100\% = 56.13\%$$

$$Q_P = \frac{0.35 - 0.0218}{0.77 - 0.0218} \times 100\% = 43.87\%$$

### 2.

- (1) 马氏体 + 残留奥氏体,  $M + A'$ 。  
 (2) 马氏体 + 下贝氏体 + 残留奥氏体,  $M + B_F + A'$ 。  
 (3) 索氏体 + 马氏体 + 残留奥氏体,  $S + M + A'$ 。  
 (4) 索氏体或珠光体,  $S$ 。  
 (5) 下贝氏体,  $B_F$ 。  
 (6) 珠光体,  $P$ 。

硬度从高到低的排序为：(1) - (2) - (5) - (3) - (4) - (6)。

## 试 卷 六

### 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 3 分, 共 30 分) 概念题

1. 珠光体相变
2. 中间相
3. 固溶强化
4. 配位数
5. 扩展位错
6. 共晶转变
7. 上坡扩散
8. 铝合金的时效
9. 再结晶
10. 一级相变

二、(每小题 5 分, 共 15 分) 给出下列各公式, 说明公式中各物理量的含义及单位:

1. Hall-Petch (霍尔-佩奇) 公式
2. 晶界偏聚公式
3. 菲克第二定律 (一维)

#### 三、(共 60 分) 简述题

1. (12 分) 画出下列各种组织:
  - (1) 共析钢的平衡组织
  - (2) 灰口铸铁 (只抛光, 未腐蚀)
  - (3) T12 钢的平衡组织
  - (4) 45 钢的平衡组织
  - (5) T12 钢的淬火组织
  - (6) 45 钢调质处理的组织
2. (10 分) 根据位错运动和晶体滑移的相互关系, 分析纯螺型位错和纯刃型位错的柏氏矢量与位错线方向、位错线运动方向、晶体滑移方向的关系。
3. (6 分) 画出立方晶系的  $[100]$ 、 $[101]$  晶向和  $(111)$ 、 $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$  晶面及六方晶系的  $[11\bar{2}0]$  晶向、 $(0001)$  晶面。
4. (10 分) 推导从液相中均匀形核形成奥氏体的临界形核功的表达式。(假定奥氏体晶核为球体, 球的表面积  $= 4\pi r^2$ , 球的体积  $= \frac{4}{3}\pi r^3$ ,  $r$  为球的半径)
5. (8 分) 简述形变金属在加热时的回复和再结晶过程及其组织与性能的变化。
6. (6 分) 判断下列位错反应能否进行, 并说明理由:

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

$$(2) \frac{a}{6} [121] + \frac{a}{6} [2\bar{1}\bar{1}] \rightarrow \frac{a}{2} [1\bar{1}0]$$

7. (8 分) 简述马氏体相变的基本特征。

#### 四、(共 45 分) 综合分析题

1. (13 分) 举例说明材料的基本强化形式有哪几种, 并详细说明其中一种的强化机制。

2. (共 20 分) 根据 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图, 回答下列问题:

(1) (5 分) 画出 50 钢从高温液态到室温的平衡冷却曲线 (不考虑铁素体的溶解度变化)。

(2) (5 分) 示意画出组织转变过程图。

(3) (5 分) 说明 50 钢在室温下的平衡组织, 并给出每一种组织的含碳量。

(4) (5 分) 计算 50 钢室温下各组织的相对重量。

3. (12 分) 根据共析碳钢的过冷奥氏体转变 C 曲线 (TTT 曲线) (如图 6-1 所示), 请写出经过图中所示 6 种不同工艺处理后材料的组织名称。

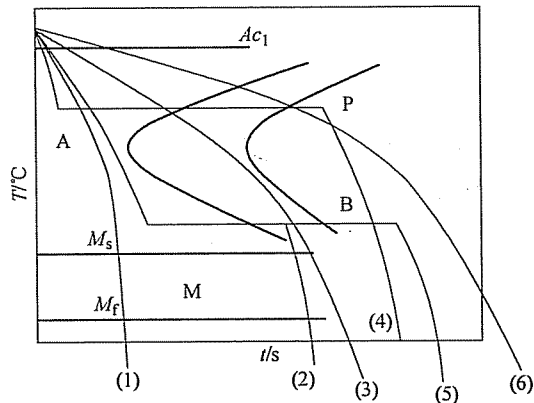


图 6-1 第四题第 3 小题图

## 标准答案

- 一、
  1. 珠光体相变: Fe-C 合金奥氏体在冷却过程中, 在共析转变温度以下同时转变为铁素体和渗碳体的共析组织的相变。
  2. 中间相: 两个纯组元形成与其结构不同的化合物, 其组成介于两个纯组

元之间的相。

3. 固溶强化：固溶体中溶质原子的存在导致溶剂的晶格产生畸变，从而阻碍位错运动，提高其强度。

4. 配位数：晶格中任一晶格结点原子周围最近邻的原子数目。

5. 扩展位错：一个全位错分解为两个不全位错和它们之间的层错，这一位错组态称为扩展位错。

6. 共晶转变：二元合金中一个液相在恒定温度下同时转变为两个不同固相的转变。

7. 上坡扩散：原子从低浓度向高浓度处的扩散，扩散的驱动力是化学位梯度。

8. 铝合金的时效：铝合金在经过高温固溶处理后，迅速冷却形成过饱和固溶体，并在随后的加热保温过程中析出亚稳相的过程。

9. 再结晶：经过塑性变形的金属，在重新加热过程中，当温度高于再结晶温度后，形成低缺陷密度的新晶粒，使其强度等性能恢复到变形前的水平，但其相结构不变的过程。

10. 一级相变：相变前后新旧两相的自由焓相等，但其一阶偏导数不等的相变。

二、

1.

(1) Hall-Petch (霍尔-佩奇) 公式

表示屈服强度与晶粒尺寸之间的关系。

$$\sigma_s = \sigma_0 + K \cdot d^{-\frac{1}{2}}$$

式中， $\sigma_0$  (MPa)、 $K$  ( $\text{MPa} \cdot \text{m}^{\frac{1}{2}}$ ) 为常数； $d$  为晶粒直径 (m)； $\sigma_s$  为屈服强度 (MPa)。

(2) 晶界偏聚公式

$$C_{gb} = C_0 \cdot \exp\left(\frac{-\Delta E}{kT}\right) = C_0 \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right)$$

式中， $C_{gb}$ 、 $C_0$  分别为晶界浓度和晶粒中心浓度，两者同单位即可，可以使用质量百分浓度或体积浓度； $\Delta E$  为交互作用能 (eV)； $Q$  为 mole 交互作用能 (J)；由于偏聚引起晶界能的变化； $R$  为气体常数 (J/K)； $k$  为玻尔兹曼常数 (eV/K)； $T$  为绝对温度 (K)。

(3) 菲克第二定律 (一维)

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

式中， $C$  为浓度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )； $D$  为扩散系数 ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )； $t$  为时间 (s)； $x$  为距离

(cm)。

三、

1. 如图 6-2 所示。

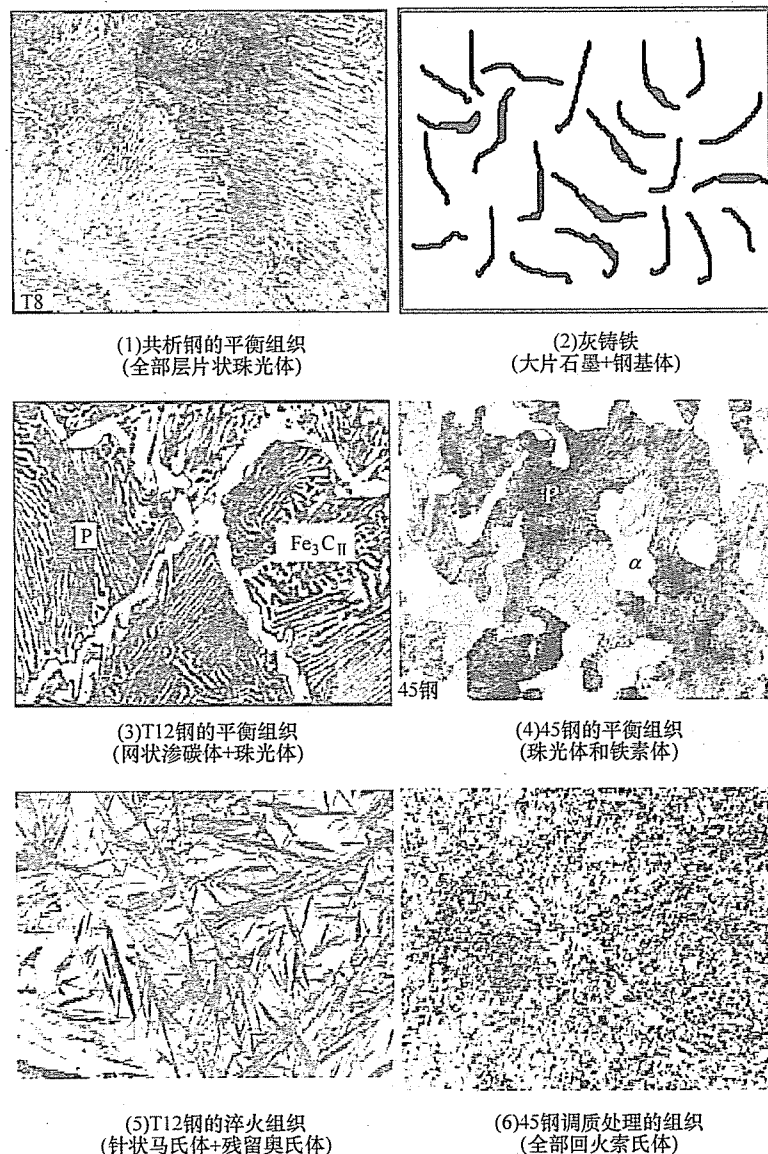


图 6-2 第三题第 1 小题解答图

2. 纯螺型位错：柏氏矢量与位错线方向平行，与位错线运动方向垂直，与晶体滑移方向平行；纯刃型位错：柏氏矢量与位错线方向垂直，与位错线运动方

向平行;与晶体滑移方向平行。

3. 如图 6-3 所示。

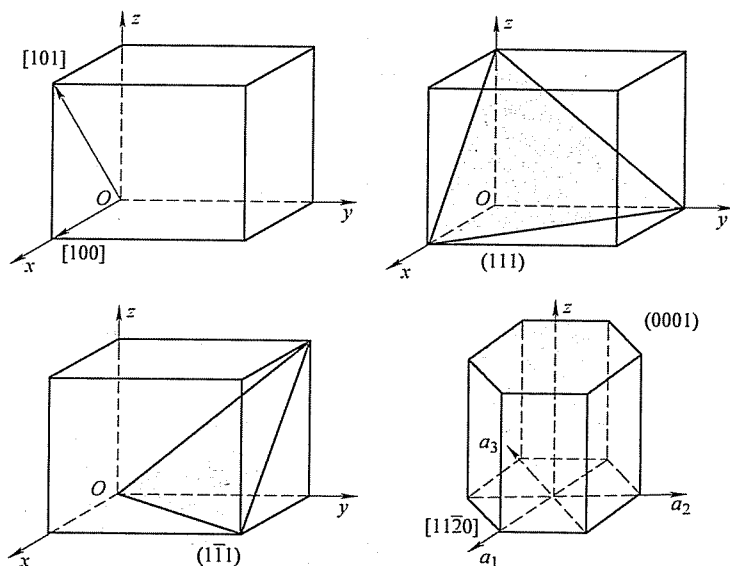


图 6-3 第三题第 3 小题解答图

4. 当过冷液体中出现一个晶胚时, 总的自由能变化  $\Delta G$  应为

$$\Delta G = \frac{4}{3}\pi r^3 \Delta G_v + 4\pi r^2 \sigma \quad (6-1)$$

令  $\frac{d\Delta G}{dr} = 0$ , 可求得

$$r^* = -\frac{2\sigma}{\Delta G_v} \quad (6-2)$$

将式 (6-2) 代入式 (6-1) 可得  $\Delta G^* = \frac{16\pi\sigma^3}{3(\Delta G_v)^2}$

由于  $A^* = 4\pi (r^*)^2 = \frac{16\pi\sigma^2}{(\Delta G_v)^2}$

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

5. 经过塑性变形的金属在加热过程中将依次发生回复和再结晶过程, 在温度低于再结晶温度时, 主要发生点缺陷的浓度的降低, 内应力的消除, 位错组态的改变, 光学显微组织没有变化; 此时, 强度、硬度、塑性等力学性能基本不变, 但电阻下降明显。达到或超过再结晶温度后, 将在原来变形晶粒内形成低缺陷密度的新晶粒, 晶粒基本呈等轴状, 此时, 强度等力学性能和物理性能迅速恢

复到变形前的水平。

6.

(1) 反应前:  $b_1^2 = a^2/2$

反应后:  $b_2^2 + b_3^2 = 3a^2/9 + 6a^2/36 = a^2/2$

$b_1^2 = b_2^2 + b_3^2$ , 且  $b_1 = b_2 + b_3$

虽然反应前后柏氏矢量总和相等, 但由于反应前后位错能量相等, 从一个全位错分解为两个不全位错, 另有层错能的增加, 因此该位错反应不能进行。

(2) 反应后:  $b_1^2 = a^2/2$

反应前:  $b_2^2 + b_3^2 = 6a^2/36 + 6a^2/36 = a^2/3$

$b_1^2 > b_2^2 + b_3^2$ , 且  $b_1 = b_2 + b_3$

虽然反应前后柏氏矢量总和相等, 但由于反应前位错能量低于反应后位错能量, 因此该位错反应不能进行。

7. 马氏体相变的基本特征表现为 (主要为前两点):

(1) 无扩散性。马氏体相变时无需原子的扩散, 没有原子的混合与再混合过程。新相 M 与母相 A 的化学成分完全相同。

(2) 切变性, 具体体现为:

①相变的协调一致性:  $A \rightarrow M$  (FCC  $\rightarrow$  BCC)。通过原子的整体协调运动 (切变), 晶体结构从 FCC 变成 BCC。原子的移动距离小于原子间距。

②表面浮凸效应。在经过抛光的表面, 若发生马氏体转变, 在切变时, 将产生表面浮凸效应。这是由于点阵形变在转变区域中产生形状改变。

③惯习面。M 总是在母相的特定晶面上析出, 伴随着 M 相变的切变, 一般与此晶面平行, 此晶面为基体与 M 相所共有, 称为惯习面。

④新相与母相之间存在确定晶体学位向关系。两种著名的取向关系 (钢的 M 转变), 即 K-S 关系和西山关系。实际材料的马氏体转变, 一般与上述关系存在几度的偏差。

(3) 马氏体相变时伴随有点阵畸变。

(4) 马氏体转变存在开始温度  $M_s$  和终了温度  $M_f$  (或  $M_z$ )

四、

1. 要点:

(1) 形式: 固溶强化、加工硬化、细晶强化、弥散强化等。

(2) 举例说明: 碳在铁素体中形成固溶体, 造成固溶强化; 纯铝板经过反复加工后硬度上升, 冷拔钢丝强度明显提高; 变质处理可以细化铸造铝合金的强度, 主要是由于晶粒细化所致; 粒状珠光体中的碳化物起到的就是弥散强化效果, 另外, 回火马氏体中细小弥散分布的碳化物有很好的强化效果等。

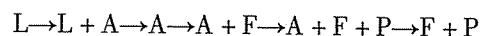
(3) 位错理论解释: 要从各种强化因素对位错运动的阻碍作用进行阐述,

提高材料强度。例如,无论是代位原子或是填隙原子,在条件合适的情况下,都可能发生原子偏聚而形成气团。对代位点阵来说,当溶质原子比溶剂原子的直径大时,溶质原子有富集在刃型位错受胀区的趋向;反之,富集于受压区。填隙原子则总是向受胀区富集。这种靠扩散在位错附近富集的现象,称为柯氏气团(Cottrell atmosphere)。柯氏气团对位错有钉扎作用,可提高位错运动阻力,从而使强度提高。

2.

(1) 如图 6-4a 所示。

(2) 如图 6-4b 所示。



50 钢在液态到室温的冷却过程中将发生以下转变: 匀晶转变  $L \rightarrow L + A$ , 并全部转变为 A, 然后发生同素异晶转变  $A \rightarrow F + A$ , 在  $727^\circ\text{C}$  发生共析转变  $A \rightarrow P$  ( $F + C_m$ )。

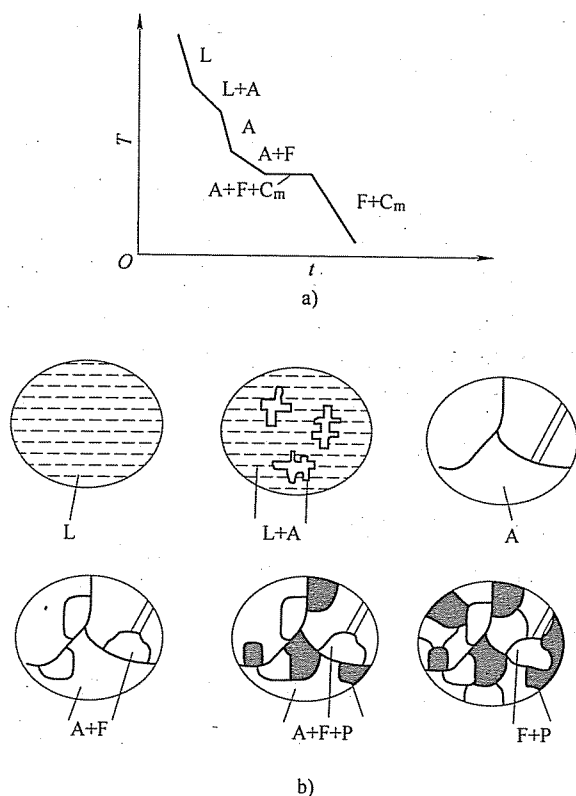


图 6-4 第四题第 2 小题解答图

a) 50 钢的平衡冷却曲线 b) 50 钢平衡冷却时的组织转变过程

(3) 珠光体: 含碳量  $w_c = 0.77\%$ 。

铁素体:  $w_c = 0.0218\%$  或  $w_c \leq 0.0218\%$ 。

$$(4) w_P = \frac{0.50 - 0.0218}{0.77 - 0.0218} \times 100\% = 63.91\%$$

$$w_F = 1 - w_P = 36.09\%$$

3.

(1) 马氏体 + 残留奥氏体,  $M + A'$ 。

(2) 马氏体 + 下贝氏体 + 残留奥氏体,  $M + B_F + A'$ 。

(3) 索氏体 + 马氏体 + 残留奥氏体,  $S + M + A'$ 。

(4) 索氏体或珠光体,  $S$ 。

(5) 下贝氏体,  $B_F$ 。

(6) 珠光体,  $P$ 。

# 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、(每小题 2 分, 共 20 分) 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、(每空 1 分, 共 20 分) 填空

1. 晶体宏观对称要素有 (1)、(2)、(3)、(4) 和 (5)。
2. NaCl 型晶体中  $\text{Na}^+$  离子填充了全部的 (6) 空隙, CsCl 晶体中  $\text{Cs}^+$  离子占据的是 (7) 空隙, 萤石中  $\text{F}^-$  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、(每小题 1 分, 共 10 分) 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、(10 分) 影响晶态固体中原子扩散的因素有哪些? 并加以简单说明。

#### 五、(共 12 分)

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、(共 10 分)

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、(8 分) 比较说明滑移与孪生这两种金属塑性变形机制的不同。

八、(10 分) 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/ $\text{mm}^2$ ; 当  $N_A = 4025$  个/ $\text{mm}^2$  时,  $\sigma_s = 95\text{MPa}$ ; 试计算  $N_A = 260$  个/ $\text{mm}^2$  时屈服强度  $\sigma_s$  的值。

九、(10 分) 分别画出立方晶胞的  $[2\bar{1}1]$  晶向和  $(021)$  晶面, 六方晶胞的  $[10\bar{1}0]$  晶向和  $(12\bar{1}2)$  晶面。

十、(共 15 分) 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;  $\text{N}^{3-}$  的离子半径为 0.148nm,  $\text{Ga}^{3+}$  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、(5 分) 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、(10 分) 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、(共 10 分) LiF-NaF-RbF 三元相图如图 7-1 所示。

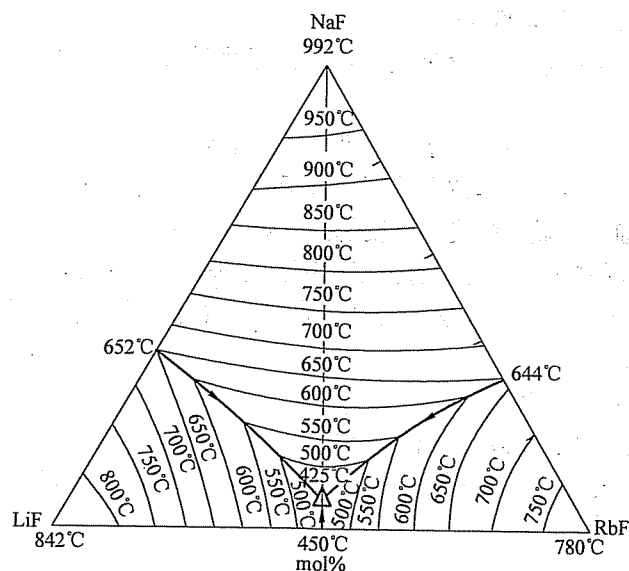


图 7-1 第十三题图

1. 确定含 RbF30mol%、LiF20mol%、NaF50mol% 的物料从高温冷却时初始凝固温度和液相全部凝固温度。

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  $\gamma$ -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)  $\pi$

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

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

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

$$\sigma_{s1} = \sigma_0 + Kd_1^{-1/2}, \sigma_{s2} = \sigma_0 + Kd_2^{-1/2}$$

代入

求出

故

$$\begin{aligned}\sigma_{s1} &= 70\text{MPa}, \sigma_{s2} = 95\text{MPa} \\ K &= 0.13\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}, \sigma_0 = 61.3\text{MPa} \\ \sigma_s &= 78.3\text{MPa}\end{aligned}$$

九、如图 7-2 所示。

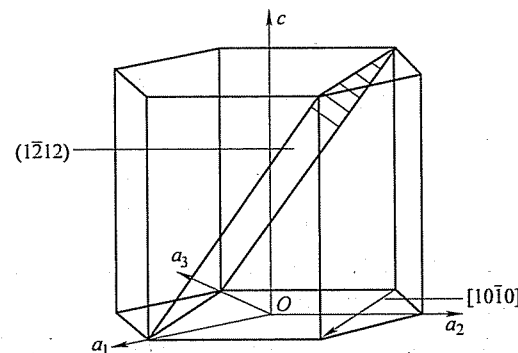
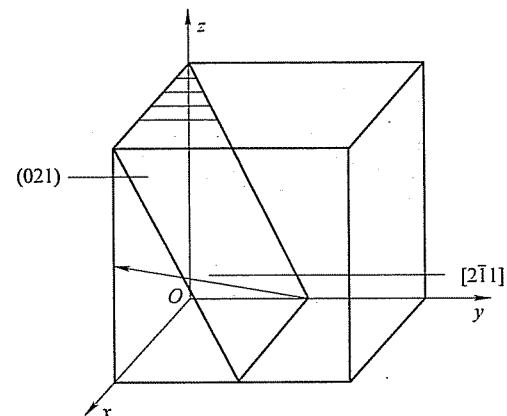


图 7-2 第九题解答图

### 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

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

配位数由正负离子半径比决定

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

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

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

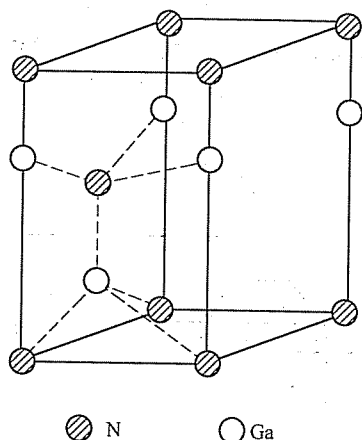


图 7-3 第十题解答图

4. 一个  $N^{3-}$  与 4 个  $Ga^{3+}$  相联:  $\Sigma Z^{3-} = \Sigma S = 4 \times \frac{3}{4} = 3$ , 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  $2TiO_2 - \frac{1}{2}O_2 \rightarrow 2Ti'_{Ti} + V_{O}'' + 3O_O$

$Ti'_{Ti}$ : 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。

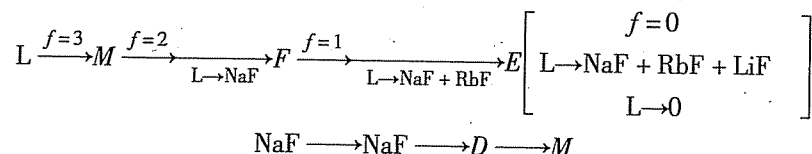
面心立方晶体中肖克莱不全位错是由不均匀滑移产生的, 它可以是刃型位错, 或螺型位错, 或混合位错, 可以滑移。

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。

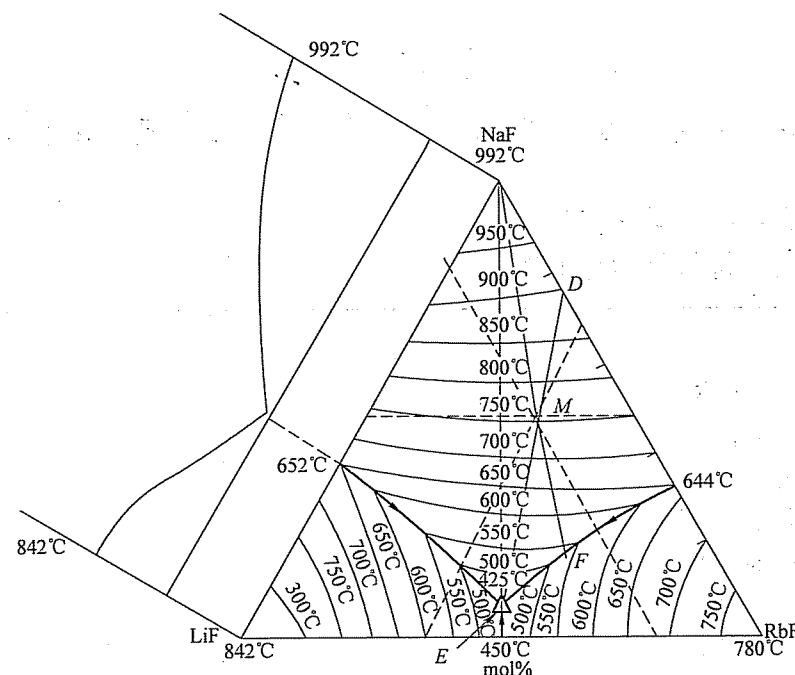


图 7-4 第十三题第 3 小题解答图

## 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、(每小题 2 分, 共 20 分) 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、(每空 1 分, 共 20 分) 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、(每小题 1 分, 共 10 分) 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、(10 分) 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、(5 分) 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、(10 分) 实验中发现, 在  $\alpha$ -Fe 中可以通过  $a/2 [111] + \frac{a}{2} [\bar{1}\bar{1}\bar{1}] \rightarrow a[100]$  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、(10 分) 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、(共 15 分) 请在答题纸上按图 8-1 绘制铁碳相图, 完成下面问题:

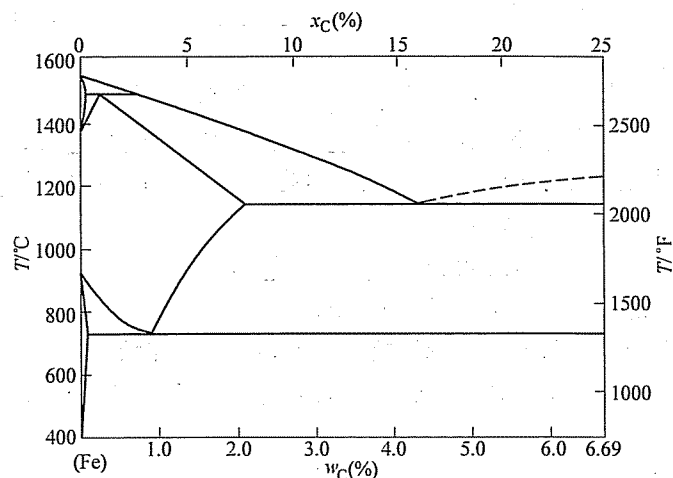


图 8-1 第八题图

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、(5 分) 在立方晶胞内画出 (122)、 $(\bar{1}10)$  晶面, 及  $[121]$ 、 $[\bar{1}10]$ 、 $[012]$  晶向。

十、(10 分) 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、(10 分) 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、(10 分) 影响晶态固体中原子扩散的因素有哪些? 并加以简单说明。

十三、(15 分) 已知碳在  $\gamma$ -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  $\gamma$ -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. 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。

### 二、

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

三、

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  $\langle \bar{1}120 \rangle$ 。

证明：密排六方晶胞的  $1/3$  如图 8-2 所示。

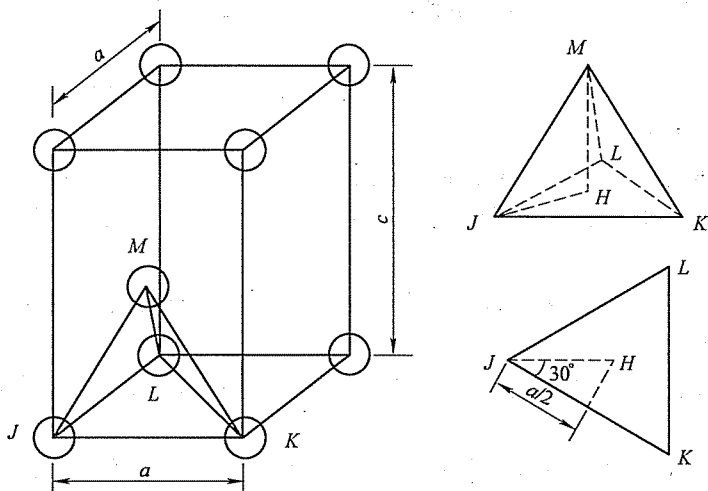


图 8-2 第四题解答图

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

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

即

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

将  $\overline{JH}$  代入，得

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

由此解出

$$\frac{c}{a} = \sqrt{\frac{8}{3}} = 1.633$$

五、如图 8-3 所示。

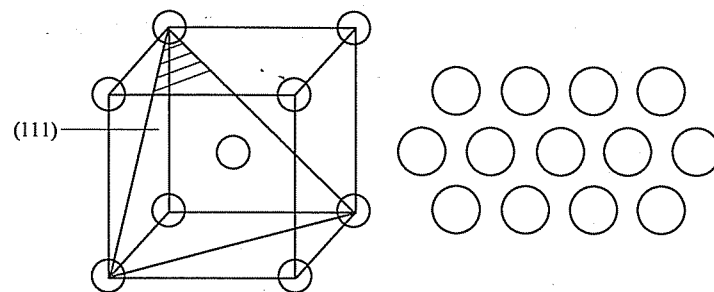


图 8-3 第五题解答图

六、如图 8-4 所示。

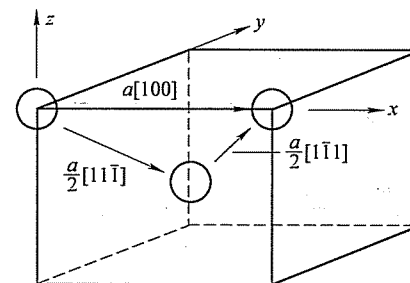


图 8-4 第六题解答图

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。

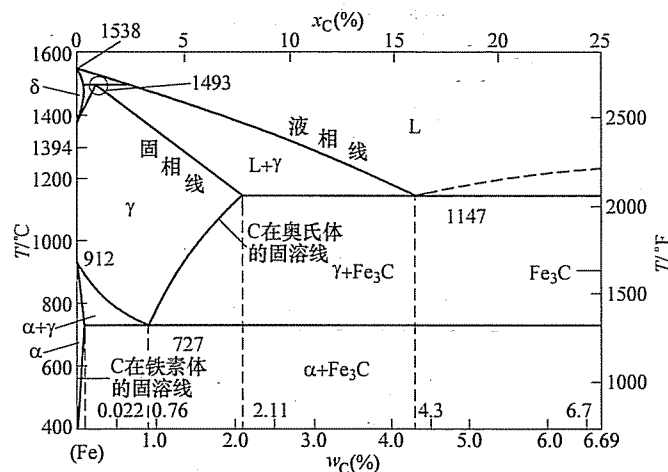


图 8-5 第八题第 1 小题解答图

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。

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。

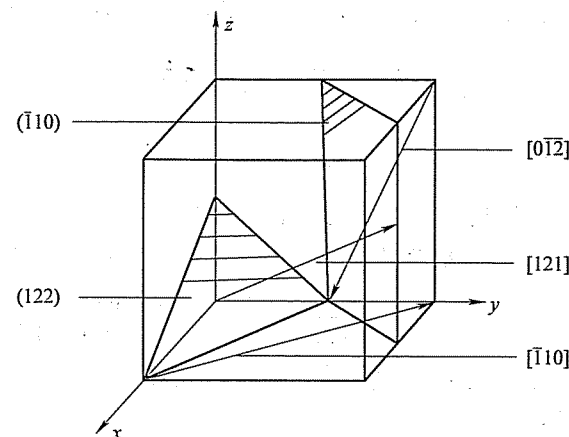


图 8-6 第九题解答图

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  $\gamma\text{-Fe}$  中扩散的误差函数解表示为

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

碳在 927℃ 与 870℃ 两种条件下分别扩散的误差函数间关系为

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

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

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

碳在 927℃ 条件下的扩散系数为

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

碳在 870℃ 条件下的扩散系数为

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

计算可得  $\frac{D_1}{D_2} = \text{e}^{0.7} = 2.014$

则所需时间为  $t_2 = \frac{D_1}{D_2} t_1 = 2.014 \times 10 \text{ h} = 20.14 \text{ h}$

## 试 卷 九

### 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 2 分, 共 20 分) 名词解释

1. 共价键
2. 晶族
3. 电子化合物
4. 相平衡
5. 线缺陷
6. 稳态扩散
7. 形变织构
8. 动态再结晶
9. 一级相变
10. 调幅分解

#### 二、(每空 1 分, 共 20 分) 填空

1. 可以按旋转轴和旋转反伸轴的轴次和数目将晶体分成立方晶系、三方晶系、四方晶系、(1)、(2)、(3) 和 (4) 共七个晶系。
2. 原子或离子的 (5) 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. 固溶体中, 当溶质原子和溶剂原子分别占据固定位置, 且每个晶胞中溶质原子和溶剂原子数之比一定时, 这种有序结构被称为 (6)。
4. 一个滑移面和其面上的一个 (7) 组成一个滑移系。
5. 结晶过程中晶体界面向液相推移的方式被称为 (8), 与液固界面的微观结构有关。
6. 相平衡时, 系统内的相数可以通过系统自由度、(9) 和对系统平衡状态能够产生影响的外界因素数目的关系式来进行计算。
7. 铸锭三晶区是指紧靠膜内壁的细晶区、(10)、铸锭中心的等轴粗晶区。
8. 小角度晶界由位错构成, 其中对称倾转晶界由 (11) 位错构成, 扭



转晶界由 (12) 位错构成。

9. 强化金属材料的方法有 (13) 强化、(14) 强化、(15) 强化、(16) 强化。

10. 再结晶完成后, 晶粒长大可分为 (17) 晶粒长大和 (18) 晶粒长大。

11. 线性高分子可反复使用, 称为 (19) 塑料; 交联高分子不能反复使用, 称为 (20) 塑料。

### 三、(每小题 1 分, 共 10 分) 判断正误

1. 在密堆结构中会形成两种空隙, 一是由 8 个球形成的八面体空隙, 另一种是由 4 个球形成的四面体空隙。

2. 尖晶石型晶体 ( $AB_2O_4$ ) 具有正型和反型结构, 其本质是正型中 A 离子的八面体择位能大于 B 离子, 而反型中是 B 离子的八面体择位能大于 A 离子。

3. 形成连续固溶体的最主要条件是溶质和溶剂的晶体结构要一致, 例如, 银和铝都具有面心立方结构。

4. 在熔化过程中, 非晶态材料不同于晶态材料的最主要特点是其没有一个固定的熔点。

5. 铁素体软而韧, 而渗碳体硬而脆, 由此两相组成的铁碳合金的性能取决于二者配合的显微结构。

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. 滑移系的多少影响金属材料的塑性变形能力。由于体心立方晶格金属具有 48 个滑移系, 所以其塑性变形能力最强。

8. 晶粒长大过程中, 大角度晶界具有比较快的迁移速度。

9. 晶粒越细小, 晶体强度、硬度越高, 塑性、韧性越差。

10. 固态相变中, 由于母相中存在大量晶体缺陷, 使得相变过程中很难发生均匀形核。

四、(8 分) 请在立方晶胞中画出  $(01\bar{2})$  和  $(111)$  以及  $[111]$  和  $[201]$  的图示, 并说明其意义。

五、(8 分) 从周期表查到  $O^{2-}$ 、 $Fe^{2+}$ 、 $Fe^{3+}$  离子的半径分别为 0.14nm、0.077nm、0.069nm, 请计算推测它们可以形成什么样的晶体结构。

六、(10 分) 请按形成固溶体的条件来讨论说明 CaO-MgO 能够形成何种固溶体。(已知  $Ca^{2+}$  和  $Mg^{2+}$  离子的半径分别是 0.1nm 和 0.072nm)

七、(10 分) 请说明 Fe-Fe<sub>3</sub>C 合金中的一次渗碳体、二次渗碳体、三次渗碳体、共晶渗碳体和共析渗碳体的特点和区别。

八、(共 14 分) 图 9-1 是一幅常用的陶瓷材料的相图。

1. 据图标出图中 A 和 B 相区的相名称。

2. 用相律分析计算相区 A 和 B 以及 E 点的自由度。

3. 写出组成含 50wt%  $Al_2O_3$  系统在凝固过程中的相变结构的变化关系。

4. 简述计算 1600℃ 时的相组成含量的方法。

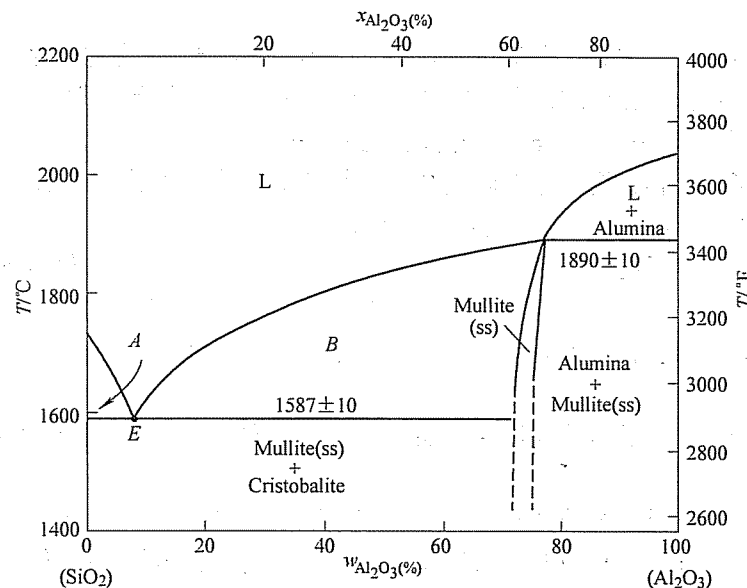


图 9-1 第八题图

九、(10 分) 比较说明滑移与孪生这两种金属塑性变形机制的不同。

十、(8 分) 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、(共 10 分)

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?

十二、(共 12 分)

1. 试用塑性变形位错理论说明金属材料的晶粒越细小其强度越高的原因。

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

十三、(10 分) 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。

## 标准答案

### 一、

1. 共价键：相邻原子由于共享电子对所形成的价键，具有饱和性和方向性。
2. 晶族：依据晶体结构中高次轴 ( $n > 2$ ) 的数目，将晶体划分为低级（无高次轴）、中级（一个高次轴）和高级（多于一个高次轴）晶族。
3. 电子化合物：属于金属间化合物，其各组元价电子总数与原子总数比的电子浓度在合金到达最大溶解度时约为 1.4。
4. 相平衡：系统中各相的化学势相等，各个组元在各相中的化学势相等。
5. 线缺陷：一维尺度的缺陷，在另外二维方向尺寸很小，例如，位错。
6. 稳态扩散：在扩散体系中，任意一点的浓度不随时间变化而改变的扩散过程。
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. 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。
10. 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。

### 二、

1. (1) 六方晶系；(2) 正交晶系；(3) 单斜晶系；(4) 三斜晶系
2. (5) 配位数
3. (6) 超点阵
4. (7) 滑移方向
5. (8) 晶体长大机制
6. (9) 组元数
7. (10) 垂直膜壁生长的柱状晶区
8. (11) 刃型；(12) 螺型
9. (13) 固溶；(14) 位错；(15) 细晶；(16) 弥散（或沉淀相颗粒）
10. (17) 正常；(18) 异常
11. (19) 热塑性；(20) 热固性

### 三、

1. ×；2. ×；3. ×；4. √；5. √；

6. ×；7. ×；8. √；9. ×；10. √

四、(012) 和 (111) 表示晶面，[111] 和 [201] 表示晶向，如图 9-2 所示。

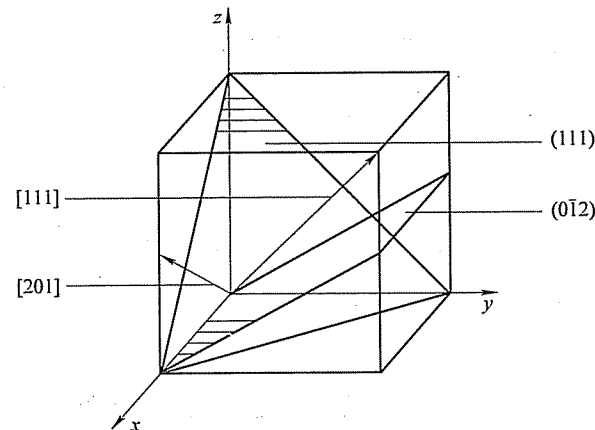


图 9-2 第四题解答图

五、FeO,  $R^+/R^- = 0.077/0.140 = 0.550$ , 处于 0.414 ~ 0.732 范围, 具有 6 配位, FCC NaCl 结构;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $R^+/R^- = 0.069/0.140 = 0.492$ , 同样处于 0.414 ~ 0.732 范围, 具有 6 配位,  $\text{A}_2\text{X}_3$  结构, 三方晶系。

六、尺寸:  $(0.1 - 0.072) / 0.1 = 28\%$ , 不符合。电负性: Ca 为 1.0, Mg 为 1.2, 同一周期上下, 接近。晶体结构: CaO 和 MgO, FCC NaCl。电子浓度: 价电子数一样。结论: 不能形成连续固溶体, 而是有限型固溶体。

七、铁碳合金都是由铁素体和渗碳体所构成的, 随着碳含量的增加, 渗碳体由零开始增加, 合金组成相的相对含量会由此而变化, 依据合金的碳含量和渗碳体在凝固过程中析出的顺序编为一次、二次和三次渗碳体, 记为  $\alpha \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{III}} \rightarrow \alpha + \text{P} \rightarrow \text{P} \rightarrow \text{P} + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}} \rightarrow \text{P} + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}} + \text{L}'\text{d} \rightarrow \text{L}'\text{d} \rightarrow \text{L}'\text{d} + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{I}}$ 。共晶渗碳体 1148℃ 及其以下含碳量超过 2.11% 时, 液相组成生成连续分布的渗碳体构成莱氏体, 共析渗碳体发生在 727℃ 及其以下形成片状渗碳体构成珠光体。

### 八、

1. 如图 9-3 所示: A—方石英和液相; B—莫来石和液相。

2. A 点自由度:  $2 - P + 1 = 2 - 2 + 1 = 1$ ; B 点自由度:  $2 - 2 + 1 = 1$ ; E 点自由度  $2 - 3 + 1 = 0$ 。

3. 50wt%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量的熔体的凝固过程:

$\text{L} \rightarrow \text{L} + \text{Mullite} (1830^\circ\text{C 左右}) \rightarrow \text{Mullite} + \text{Cristobalite} (1590^\circ\text{C}) \rightarrow \text{Mullite} (\text{量增加}) + \text{Cristobalite} (1590^\circ\text{C 以下})$ 。

4. 计算 1600℃ 时相组成：沿温度坐标画一水平线，与相图 B 区上的液相线、组成垂线和莫来石相线相交，分别记为 a、b、c。利用杠杆定律：莫来石/方石英 =  $ab/bc$ ，计算出相组成。

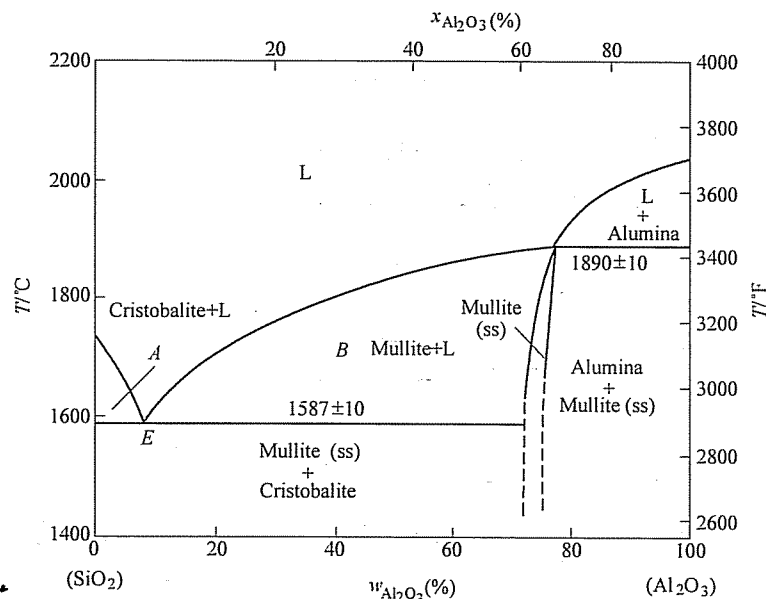


图 9-3 第八题解答图

#### 九、

(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。

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、

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。

#### 十二、

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

2. 根据 Hall-Petch 公式， $\sigma_s = \sigma_0 + Kd^{-1/2}$

由平均晶粒尺寸  $d$  计算材料的屈服强度  $\sigma_s$ 。

由等面积圆半径表示晶粒尺寸，即

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

式中， $A_1$  和  $A_2$  为晶粒面积。

于是

$$\sigma_{s1} = \sigma_0 + Kd_1^{-1/2}, \sigma_{s2} = \sigma_0 + Kd_2^{-1/2}$$

由已知

$$A_1 = 1/16 \text{ mm}^2, A_2 = 1/4096 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{s1} = 100 \text{ MPa}, \sigma_{s2} = 250 \text{ MPa}$$

求出

$$K = 25\sqrt{2}\pi^{-1/4} \text{ MPa} \cdot \text{mm}^{1/2}, \sigma_0 = 50 \text{ MPa}$$

再由

$$A_3 = 1/256 \text{ mm}^2$$

求出

$$\sigma_{s3} = 150 \text{ MPa}$$

十三、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。

# 中南大学

## 试卷十

### 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: 材料学、材料加工

一、(每小题 20 分, 共 40 分) 从以下题中任选 2 道。

1. 说明材料中的结合键与材料性能的关系。
2. 任意选择一种材料, 说明其可能的用途和加工过程。
3. 说说你对材料的成分、组织、工艺与性能之间关系的理解。
4. 谈谈你所了解的新材料、新工艺。
5. 试举例分析材料加工过程对材料使用性能的影响。
6. 谈谈你对高强度材料的理解。

二、(共 70 分) 根据图 10-1 所示的二元相图, 回答下列问题。

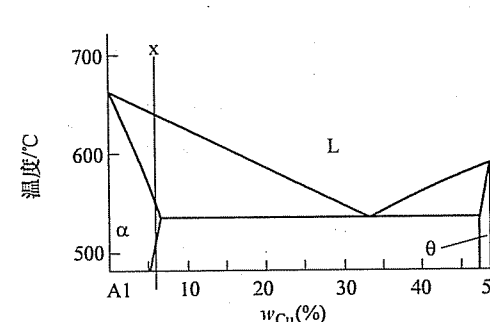


图 10-1 第二题图

1. (15 分) Al 为面心立方金属, 写出单胞中的原子数、致密度、配位数、密排面与密排方向。在单胞中画出密排面与密排方向。指出  $\alpha$  的晶体结构。 $\alpha$  与  $\theta$  均是 Al 与 Cu 相互作用的结果, 说明  $\alpha$  与  $\theta$  的结构差别。
2. (15 分) 何谓再结晶全图和起始再结晶温度? 制订一种测定再结晶温度

的方案,简述原理。

3. (20 分) 比较纯铝平衡结晶时与 x 合金平衡结晶时的异同点。分析 x 合金平衡结晶和非平衡结晶中组织转变的过程。

4. (20 分) x 合金塑性变形后的组织、性能有何变化? 用位错理论解释 x 合金的室温强化措施。

三、(共 20 分)

1. 写出图 10-2 中 x 合金的成分。

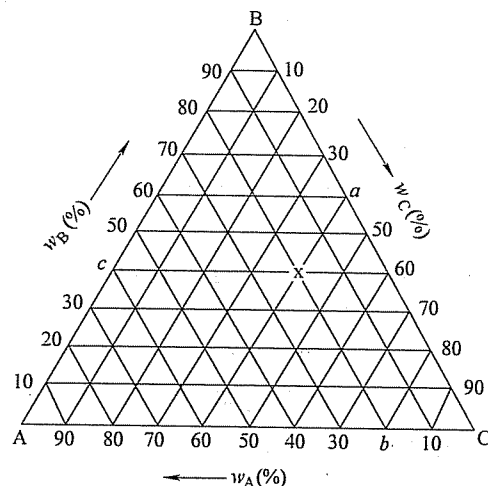


图 10-2 第三题第 1 小题图

2. 分析图 10-3 中 V 合金的平衡结晶过程。

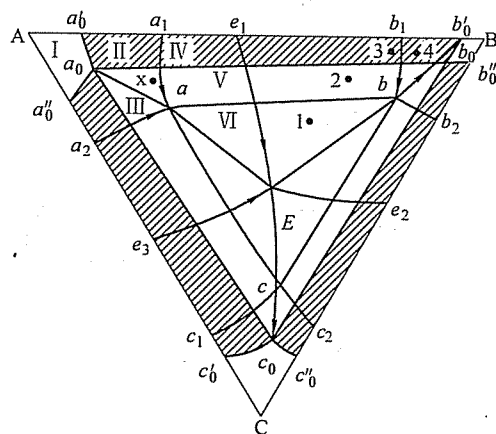


图 10-3 第三题第 2 小题图

四、(20 分) 解释常用的扩散机制。有两种激活能分别为  $E_1 = 83.7 \text{ kJ/mol}$  和

$E_2 = 251 \text{ kJ/mol}$  的扩散, 观察在温度从  $25^\circ\text{C}$  升高到  $600^\circ\text{C}$  时对这两种扩散的影响, 并对结果作出评述。

## 标准答案

一、

1. 参考答案: 材料结合键的类型及结合能的大小对材料的性能有重要的影响, 特别是对物理性能和力学性能。

结合键越强, 熔点越高, 热膨胀系数就越小, 密度也越大。金属具有光泽、高的导电性和导热性、较好的机械强度和塑性, 且具有正的电阻温度系数, 这就与金属的金属键有关。陶瓷、聚合物一般在固态下不导电, 这与其非金属键结合有关。工程材料的腐蚀实质是结合键的形成和破坏。

晶体材料的硬度与晶体的结合键有关。一般共价键、离子键、金属键结合的晶体比分子键结合的晶体的硬度高。结合键之间的结合键能越大, 则弹性模量越大。工程材料的强度与结合键能也有一定的联系。一般结合键能高, 强度也高一些。材料的塑性也与结合键类型有关, 金属键结合的材料具有良好的塑性, 而离子键、共价键结合的材料塑性变形困难, 所以陶瓷材料的塑性很差。

2. 参考答案: 如 Al-Mg 合金。作为一种可加工、不可热处理强化的结构材料, 由于具有良好的焊接性能、优良的耐蚀性能和塑性, 在飞机、轻质船用结构材料、运输工业的承力零件和化工用焊接容器等方面得到了广泛的应用。

根据材料使用目的, 设计合金成分, 考虑烧损等情况进行配料, 如 Al5Mg 合金板材, 实验室条件下可在电阻坩埚炉中  $750^\circ\text{C}$  左右进行合金熔炼, 精炼除气、除渣后  $720^\circ\text{C}$  金属型铸造,  $430 \sim 470^\circ\text{C}$  均匀化退火  $10 \sim 20 \text{ h}$  后, 在  $380 \sim 450^\circ\text{C}$  热轧, 再冷轧至要求厚度, 在电阻炉中进行稳定化处理, 剪切成需要的尺寸或机加工成标准试样, 进行各种组织、性能测试。

3. 参考答案: 材料的成分、组织、工艺与性能之间的关系非常紧密, 互相影响。材料的性能与它们的化学成分和组织结构密切相关, 材料的力学性能往往对结构十分敏感, 结构的任何微小变化, 都会使性能发生明显变化。材料工作者的最终目标是根据最终需求, 设计出合理成分, 制订最佳生产流程, 而后生产出符合要求的材料。

如钢中存在的碳原子对钢的性能起着关键作用, 许多金属材料中一些极微量的合金元素也足以严重影响其性能。然而由同一元素碳构成的不同材料如石墨和金刚石, 也有着不同的性能, 有些高分子的化学成分完全相同而性能却大不一样, 其原因是它们有着不同的内部结构。

材料的内部结构可分为不同层次,包括原子结构、原子的排列方式,以及显微组织和结构缺陷。如果同样的晶体材料,它的晶粒或是“相”的形态和分布改变,就可以大大地改善它的性能。无论是金属、陶瓷、半导体、高分子还是复合材料,它们的发展无一不与成分和结构密切相关。只有理解和控制材料的结构,才能得到人们所要求的材料性能。

而材料的制备/合成和加工不仅赋予材料一定的尺寸和形状,而且是控制材料成分和结构的必要手段。如钢材可以通过退火、淬火、回火等热处理来改变它们内部的结构而达到预期的性能,冷轧硅钢片经过复杂的加工工序能使晶粒按一定取向排列而大大减少铁损。飞机发动机的叶片可以通过铸造的凝固控制做成单晶体叶片,使之没有晶粒边界,大大提高它的使用温度和性能,光纤不仅要拉成微米级的细丝,而且要控制光纤从内到外的折射率的分布,等等。有时候可以说没有一种合成加工上的新的突破,就没有某一种新材料。如有了快速冷却的加工方法,才有了非晶态的金属合金。

4. 参考答案:材料的种类繁多,把那些已经成熟且在工业中已批量生产并大量应用的材料称之为传统材料或基础材料,如钢铁、水泥、塑料等。而把那些正在发展,且具有优异性能和应用前景的一类材料称之为先进材料或新材料。传统材料通过采用新技术、提高性能可以成为新材料,新材料经过长期生产和应用之后也就成为传统材料。目前新材料往往与新的加工技术联系在一起,如通过一种快速冷却或机械合金化等加工方法,可以制备非晶态的金属合金,而在这之前人们不知道金属还可以做成非晶态;其他如喷射沉积技术、半固态加工技术、净形薄带连续铸造技术等都是新的加工技术。某些高分子材料,采用挤压成丝工艺以后,使有机纤维的比强度和比刚度大幅度提高;采用 CVD + 熔融或离子交换制备新型光纤材料等等。

其中铝合金制备新技术有:热顶铸造、气隙铸造及电磁铸造技术,铝合金电磁铸轧技术,大型铝合金型材挤压技术,特宽铝合金中厚板轧制技术,半固态金属成形技术,铝合金显微组织结构预测及性能控制技术。

5. 参考答案:材料加工过程对材料使用性能有重要而复杂的影响,材料也必须通过合理的工艺流程才能制备出具有实用价值的材料来。通过合理和经济的合成和加工方法,可以不断创制出许多新材料或改变和精确控制许多传统材料的成分和结构,可以进一步发掘和提高材料的性能。

材料的制备/合成和加工不仅赋予材料一定的尺寸和形状,而且是控制材料成分和结构的必要手段。如钢材可以通过退火、淬火、回火等热处理来改变它们内部的结构而达到预期的性能,冷轧硅钢片经过复杂的加工工序能使晶粒按一定取向排列而大大减少铁损。飞机发动机的叶片可以通过铸造的凝固控制做成单晶体叶片,使之没有晶粒边界,大大提高它的使用温度和性能。

6. 参考答案:对于结构材料,最重要的性能指标之一是强度。强度是指材料抵抗变形和断裂的能力,提高材料的强度可以节约材料,降低成本。人们在利用材料的力学性能时,总是希望所使用的材料具有足够的强度,人们希望合理运用和发展材料强化方法,从而挖掘材料性能潜力的基础。

从理论上讲,提高金属材料强度有两条途径:一是完全消除内部的位错和其他缺陷,使它的强度接近于理论强度。目前虽然能够制出无位错的高强度金属晶须,但实际应用它还存在困难,因为这样获得的高强度是不稳定的,对操作效应和表面情况非常敏感,而且位错一旦产生后,强度就大大下降。因而在生产实践中,主要采用另一条途径来强化金属,即在金属中引入大量的缺陷,以阻碍位错的运动,例如金属材料的强化手段一般有固溶强化、细晶强化、第二相粒子强化、形变强化等。综合运用这些强化手段,也可以从另一方面接近理论强度,例如在铁和钛中可以达到理论强度的 38%。一些新型高强铝合金,如 Al-Li 合金、Al-Cu-Mg 系合金和 Al-Zn-Mg 系合金以及高 Zn 含量 Al-Zn-Mg 合金、Al-Mg-Sc 系合金、Al-Zn-Mg-Sc 系合金、铝基复合材料等,应用各种强化方法均获得了很高的强度和其他综合性能。

## 二、

1. Al 单胞中原子数 4,致密度 0.74,配位数 12,密排面  $\{111\}$ ,密排方向  $\langle 110 \rangle$ 。 $\alpha$  的晶体结构 FCC。 $\alpha$  与  $\theta$  均是 Al 与 Cu 相互作用的结果, $\alpha$  是固溶体,晶体结构与 Al 相同, $\theta$  是化合物,晶体结构与 Al、Cu 均不相同。

2. 再结晶全图是变形金属变形程度、退火温度与退火后晶粒大小的图,起始再结晶温度指大变形金属退火 1h 后开始再结晶的温度。一种测定再结晶温度的方案可以是:大变形金属退火 1h 后,测量硬度变化,硬度大幅下降温度为开始再结晶温度。

3. 纯铝平衡结晶时,需要能量与结构起伏,x 合金平衡结晶时还需要成分起伏,结晶速度快于纯金属,有溶质原子再分配、成分过冷等。x 合金的平衡结晶组织转变过程为: $L \rightarrow \alpha$ ,  $\alpha$ ,  $\alpha \rightarrow \theta_{II}$ ,非平衡结晶中组织转变过程为: $L \rightarrow \alpha$ ,出现非平衡共晶, $\alpha$ ,  $\alpha \rightarrow \theta_{II}$ 。

4. x 合金塑性变形后的组织、性能变化有加工硬化、组织纤维化、加工残余内应力,甚至有加工织构及其他物理化学性能变化。x 合金的室温强化措施有固溶强化、加工硬化、细化晶粒强化、沉淀强化等。位错理论解释为:固溶强化是固溶原子在位错周围形成各种气团,加工硬化是增加位错数目,细化晶粒强化是增加晶界数目,沉淀强化是第二相粒子与位错交互作用导致位错切过或绕过粒子,这些均增加了位错运动难度,使得强度上升。

## 三、

1. 图 10-2 的 x 合金的成分为: $w_A = 20\%$ ,  $w_B = 40\%$ ,  $w_C = 40\%$ 。

2. 图 10-3 中合金中 V 的平衡结晶过程为  $L \rightarrow \alpha$ ,  $L \rightarrow (\alpha + \beta)_{\text{共晶}}$ ,  $\alpha \rightarrow \beta_{\text{II}}$ ,  $\alpha$  与  $\beta$  互析。

四、常用的扩散机制有空位机制和间隙机制。两种激活能分别为  $E_1 = 83.7 \text{ kJ/mol}$  和  $E_2 = 251 \text{ kJ/mol}$  的扩散在温度从  $25^\circ\text{C}$  升高到  $600^\circ\text{C}$  时, 由  $D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$  得: 当温度从  $298\text{K}$  提高到  $873\text{K}$  时, 扩散速率  $D$  分别提高  $4.6 \times 10^9$  和  $9.5 \times 10^{28}$  倍, 显示出温度对扩散速率的重要影响。激活能越大, 扩散速率对温度的敏感性越大。

## 试 卷 十 一

### 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: 材料学、材料加工

一、(20 分) 叙述你所熟悉的某一类材料的凝固过程。

二、(20 分) 叙述你所熟悉的某一类材料的变形行为及其特点。

三、(每小题 10 分, 共 70 分) 根据图 11-1 所示铁碳亚稳平衡相图和你所学所有知识, 回答下列问题:

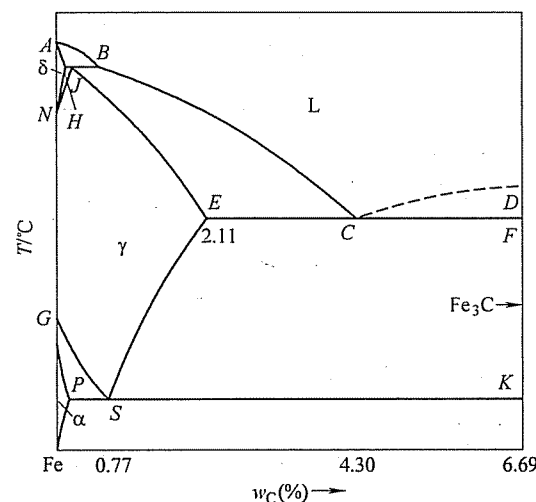


图 11-1 第三题图

1. (10 分) 分析氢、氮、碳、硼在  $\gamma\text{-Fe}$  中形成固溶体的类型, 进入点阵中的位置和固溶度大小。已知元素的原子半径如下: 氢  $0.046\text{nm}$ , 氮  $0.071\text{nm}$ , 碳  $0.077\text{nm}$ , 硼  $0.091\text{nm}$ ,  $\gamma\text{-Fe}$   $0.126\text{nm}$ 。

2. (10 分) 标注相图中平衡反应的成分及温度, 写出平衡反应式。

3. (10 分) 分析  $w_C = 1\%$  的铁碳合金平衡凝固到室温过程的组织变化。

4. (10 分) 指出  $\gamma$  相的晶体结构、密排方向、密排面、致密度、配位数、晶胞中原子数和通常情况下的滑移系; 画出其中一个滑移系, 并标明指数。

5. (10 分) 结合你所学的有关知识, 说明如何提高 Fe-C 合金的强度。

6. (10分)  $w_c = 0.1\%$  的铁碳合金在拉伸中, 一种情况是在拉伸出现塑性变形后去载, 立即再加载; 另一种情况是去载后时效再加载。试解释前者无屈服现象后者有屈服现象的原因。

7. (10分)  $w_c = 0.1\%$  的铁碳合金制作成齿轮, 对齿轮气体渗碳强化。画出钢在渗碳后的组织分布示意图; 渗碳在  $\gamma$ -Fe 中进行而不在  $\gamma$ -Fe 中进行, 即渗碳温度选择要高于  $A_3$  温度, 为什么? 渗碳温度高于  $1100^\circ\text{C}$  会出现什么问题?

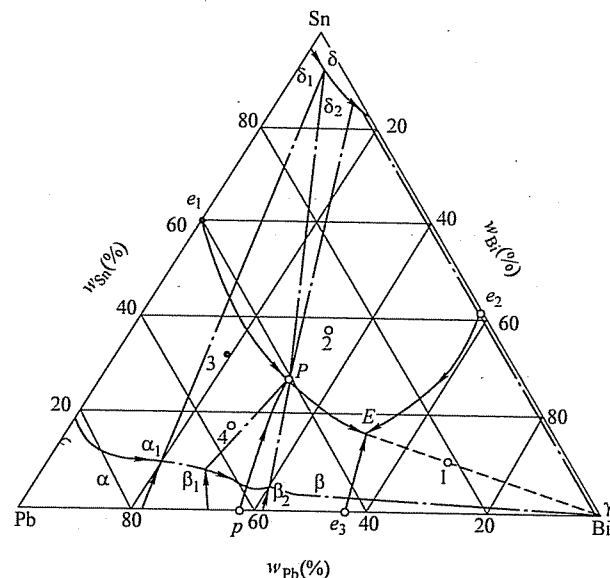


图 11-2 第四题图

四、(10分) 如图 11-2 所示相图, 写出四相反应; 分析 2 点合金结晶过程。

五、(10分) 分析位错对金属材料性能的影响。

六、(20分) 就你所学所有知识, 谈谈如何控制和改善金属材料中的组织。

## 标准答案

一、(简答, 以金属材料为例)

金属材料在凝固过程后通常得到结晶体, 因此金属材料的凝固过程也称结晶过程。

金属的结晶通常分为两个阶段, 即形核和形核后的长大阶段。

金属的形核通常在金属熔体中的小尺寸有序原子集团 (晶胚) 基础上, 通过原子扩散而形成能够稳定长大的晶核, 即纯金属的形核过程一般需要满足能量

条件和结构条件, 而合金的形核还要一定的成分条件。

金属形核后的长大通常需要一个较小的过冷度, 原子向晶核扩散而长大, 在长大过程中结晶界面是粗糙界面, 因此金属长大速度一般很快, 而结晶界面结构、温度梯度和结晶速度会影响到长大后的晶粒形状和大小, 对于合金通常还会造成合金结晶后出现成分偏析等问题。

二、(简答, 以金属材料为例)

金属材料在拉伸变形中通常经历弹性变形、塑性变形阶段, 最终可能断裂。

金属材料的每个单晶体中主要变形方式以滑移为主, 部分金属在变形中也会出现孪生变形。滑移和孪生变形的微观机制均可以用位错的观点进行解释。

多晶体材料则由于晶界的阻滞作用和相邻晶粒位向差的不同通常会影响位错运动, 导致多晶体材料变形相对单晶体材料困难。

单相固溶体合金则因为溶质原子的作用出现固溶强化, 体心立方金属在拉伸过程中有屈服现象和应变时效现象。

多相合金的塑性变形特点与第二相的数量、尺寸和分布有关, 一般细小弥散、均匀分布的第二相会增强合金强度, 使变形困难。

金属材料在变形过程中通常有加工硬化现象, 同时微观组织和其他物理化学性能也有改变。

三、

1.  $\gamma$ -Fe 为 FCC 结构, 八面体间隙半径  $r = 0.414R_{\text{原子}} = 0.0522\text{nm}$ , 四面体间隙半径  $r = 0.225R_{\text{原子}} = 0.0284\text{nm}$ 。可见氢、氮、碳原子在  $\gamma$ -Fe 中一般会溶入八面体间隙中心, 形成间隙固溶体, 固溶度较小; 硼在  $\gamma$ -Fe 中一般也是位于八面体间隙中心, 形成间隙固溶体, 但是有时也可以形成置换固溶体。

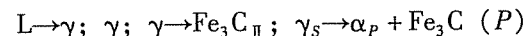
2. 图中平衡反应成分、温度和反应式如下 (三条水平线, 从上到下):

$1495^\circ\text{C}$ ,  $L_B + \delta_H \rightarrow \gamma_J$ , B、H 和 J 点成分分别为:  $w_c = 0.09\%$ ,  $w_c = 0.17\%$ ,  $w_c = 0.53\%$ 。

$1148^\circ\text{C}$ ,  $L_C \rightarrow \gamma_E + \text{Fe}_3\text{C}$ , C、E 点和  $\text{Fe}_3\text{C}$  成分分别为:  $w_c = 4.3\%$ ,  $w_c = 2.11\%$ ,  $w_c = 6.69\%$ 。

$727^\circ\text{C}$ ,  $\gamma_S \rightarrow \alpha_P + \text{Fe}_3\text{C}$ , S、P 点和  $\text{Fe}_3\text{C}$  成分分别为:  $w_c = 0.77\%$ ,  $w_c = 0.0218\%$ ,  $w_c = 6.69\%$ 。

3. 合金平衡凝固到室温过程的组织变化为:



4.  $\gamma$  为 FCC 结构, 其密排方向、密排面、致密度、配位数、晶胞中原子数分别为  $\langle 110 \rangle$ 、 $\{111\}$ 、0.74、12 和 4; 通常情况下的滑移系为  $\{111\} \langle 110 \rangle$ , 其中一个滑移系为  $(111) [\bar{1}10]$ , 指数如图 11-3 所示。

5. (简答) 提高 Fe-C 合金的强度方法有多种, 主要有加工硬化、微合金强



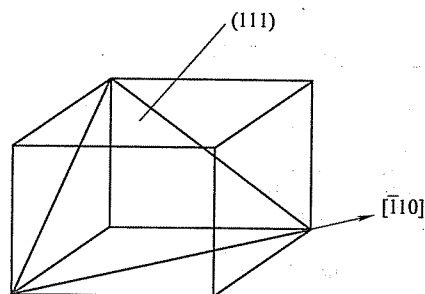


图 11-3 第三题第 4 小题解答图

化、固溶强化、细化晶粒强化、热处理强化（马氏体相变强化等）。

6.  $w_C = 0.1\%$  合金中由于 C 原子与 Fe 的弹性交互作用，形成柯垂尔气团（亦称柯氏气团），柯垂尔气团与位错的交互作用导致合金出现屈服现象，在拉伸出现塑性变形后去载，立即再加载是已经克服了柯垂尔气团对位错的阻碍，立即再加载不会重新出现屈服现象，而卸载时效再加载会使溶质原子重新聚集形成与位错的新的交互作用，从而使合金再次出现屈服现象。

7.  $w_C = 0.1\%$  合金齿轮渗碳后的组织分布示意图如图 11-4 所示。

渗碳在  $\gamma$  温度范围中（ $A_3$  温度以上）进行而不在  $\alpha$  温度范围中进行的主要原因是，温度较高，渗碳速度可以较快，同时在  $\gamma$  温度范围中进行渗碳，可以得到较大的含碳量，但是渗碳温度高于  $1100^\circ\text{C}$  会导致基体合金晶粒粗大，力学性能下降，同时对渗碳设备也会提出更高要求。

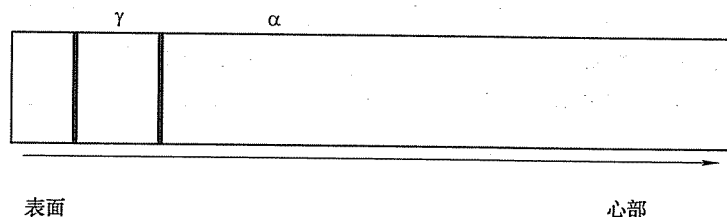


图 11-4 第三题第 7 小题解答图

四、

P 点（包共晶反应）： $L + \alpha_1 \rightarrow \delta_1 + \beta_1$ 。

E 点（三元共晶）： $L \rightarrow \delta_2 + \beta_2 + \gamma$ 。

图中 2 点合金凝固过程： $L \rightarrow \delta$ ； $L \rightarrow \delta_2 + \beta_2$ ； $L \rightarrow \delta_2 + \beta_2 + \gamma$ 。

五、（简答）位错对金属材料性能的影响主要有：金属的塑性变形是通过位错的运动实现的，因此金属材料的强化手段可以通过改变材料中的位错数量来实现；合金中位错与溶质原子发生作用形成柯垂尔气团造成屈服现象和应变时效，位错是第二相形核的择优场所，通常第二相在位错处可以优先形核长大；刃型位

错可以看成是一个管道，可以加速扩散速度。

六、（以金属材料为例，简答）材料的组织与其成分和加工过程密切相关。

控制和改善金属材料中的组织可以通过选择成分确定合适的组织，不同成分金属可以得到纯金属、单相固溶体合金和多相合金；可以通过添加剂改变金属的晶粒大小；可以通过不同加工处理手段改变金属材料组织，如铸造过程中的冷却速度和冷却方式、温度梯度、铸造后的压力加工大小和方式；可以通过热处理改变金属材料组织；可以通过快速凝固和粉末冶金等手段获得非平衡组织。

## 试 卷 十 二

## 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：材料学、材料加工

一、(共 20 分) 已知铝的空位形成能为  $0.76\text{eV}/\text{空位}$ ， $25^\circ\text{C}$  时铝的点阵常数为  $0.405\text{nm}$ 。

1. 计算  $25^\circ\text{C}$  时铝的空位浓度 (空位/ $\text{cm}^3$ )。
2. 铝在什么温度下空位浓度是  $25^\circ\text{C}$  时的 1000 倍?

二、(30 分) 根据  $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$  相图，分析含碳量  $w_c = 1.2\%$  的铁碳合金从液态平衡冷却至室温的转变过程，并分别计算室温下的相组成物及组织组成物的相对量 (渗碳体含碳量为  $6.67\%$ )；如果要使显微组织中渗碳体与珠光体各占一半，那么该合金的含碳量是多少?

三、(30 分) 为什么多元合金凝固时会出现成分过冷? 成分过冷对合金的凝固组织有什么影响?

四、(15 分) 什么是变质剂? 试简述添加变质剂细化晶粒的基本原理。

五、(20 分) 结合影响金属材料强度的因素，总结位错理论在材料科学中的应用。

六、(20 分) 简述冷变形后金属回复及再结晶退火对材料组织和性能变化的规律，说明哪些地方可能是再结晶优先形核的地点，指出再结晶、结晶、固态相变之间的主要区别。

七、(共 15 分) 解答下列扩散问题。

1. (5 分) 简述影响扩散系数的主要因素。
2. (10 分) 试利用图 12-1 所示  $\text{Fe}-\text{O}$  相图分析纯铁在  $1000^\circ\text{C}$  氧化时氧化层内的组织与氧浓度分布规律，画出示意图。

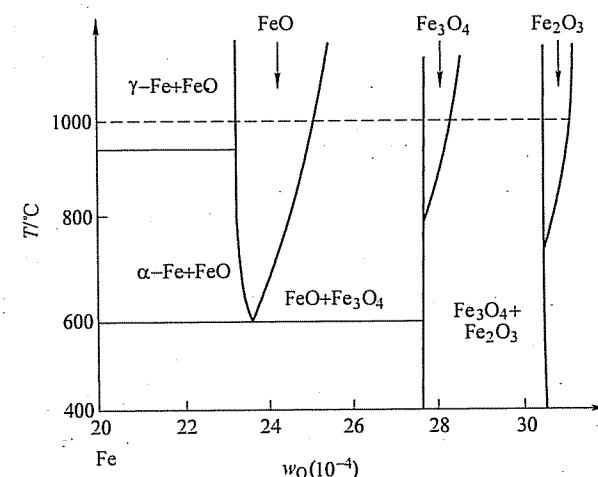


图 12-1 第七题第 2 小题图

## 标准答案

一、

1. 设铝的点阵常数为  $a = 0.405\text{nm}$ ，由题可知单位晶体体积内单胞数为  $\frac{1}{a^3}$ ，由于铝为 FCC 结构，每个单胞内的原子个数为 4，可知单位体积内结点个数为  $N = \frac{4}{a^3}$ 。空位浓度为

$$C_v = \frac{\text{单位体积内空位数 } (n)}{\text{单位体积内结点数 } (N)} = A e^{-\frac{Q_v}{RT}} \quad (12-1)$$

式中， $A$  为材料常数，通常取  $A = 1$ ；空位形成能  $Q_v = 0.76\text{eV}$ ，而  $1\text{eV} = 1.602 \times 10^{-19}\text{J}$ ； $R = 8.31\text{J/mol} \cdot \text{K}$ ，为气体常数； $T$  为热力学温度。

在  $25^\circ\text{C}$  时， $T = (273 + 25)\text{K} = 298\text{K}$ ，代入式 (12-1) 得到此温度下的铝中的空位浓度  $n = 8.34 \times 10^9$  空位/ $\text{cm}^3$ 。

2. 由空位浓度计算公式 (12-1)，不同温度下空位浓度与温度有关， $T_1 = 298\text{K}$ ， $T_2$  待求，而依题意有  $\frac{C_{T_1}}{C_{T_2}} = e^{\frac{Q_v}{RT_2} - \frac{Q_v}{RT_1}} = \frac{1}{1000}$ ，代入各数据计算可得  $T_2 = 115.7^\circ\text{C}$ 。

二、由  $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$  相图可知， $w_c = 1.2\%$  的铁碳合金在冷却过程中先凝固成奥氏体，当温度达到  $A_{cm}$  线后，开始析出渗碳体，随渗碳体的析出，奥氏体中的含

碳量降低,当温度达到 738℃ 时,奥氏体的含碳量变为 0.68%,发生共析转变成珠光体。所以最后相组成物为 18% 渗碳体 + 82% 铁素体,组织组成为 13% 的渗碳体 + 87% 珠光体。如果要使显微组织中渗碳体与珠光体各占一半,那么由杠杆定律计算得到该合金的含碳量为 3.675%。

三、多元合金凝固过程中熔点高的元素先凝固,如果合金搅拌不够充分,将会使低熔点的元素富集在凝固界面前沿,降低凝固界面前沿液相的实际凝固温度,这时即使是正的温度梯度,凝固界面前沿也可能出现过冷度随离开界面距离增加而增大的现象,这种现象称为成分过冷现象。成分过冷现象的出现将使多元合金即使在正的温度梯度下也可能出现胞状组织或枝晶组织。

四、通过少量添加能改变合金铸造组织相组成、相形貌或晶粒度从而改变铸造合金性能的物质称为变质剂。变质剂细化晶粒的基本原理是变质剂本身或变质剂与合金中元素反应能够形成构成合金析出晶核的弥散相,该弥散相与合金凝固相能形成界面能很低的共格界面,合金在该弥散相上非均匀形核从而达到细化晶粒的目的。

五、固溶强化的可能位错机制主要是溶质原子气团对位错的钉扎,增加了位错滑移阻力。如溶质原子与位错弹性交互作用的柯垂尔气团和斯诺克气团,溶质原子与扩展位错交互作用的铃木气团,使层错宽度增加,位错难于束集,交滑移困难;溶质原子形成的偏聚和短程有序,位错运动通过时破坏了偏聚和短程有序使得能量升高,增加位错的阻力;溶质原子与位错的静电交互作用对位错滑移产生的阻力使材料强度升高。

弥散强化也是通过阻碍位错运动强化材料,如位错绕过较硬、与基体非共格第二相的 Orowan 机制和切割较软、与基体共格的第二相粒子的切割机制。

产生加工硬化的各种可能机制有滑移面上平行位错间交互作用的平行位错硬化理论,以及滑移面上的位错与其他滑移面上的位错林切割产生割阶的林位错强化理论。

晶界强化,按照霍尔-佩奇公式,其实质是位错越过晶界需要附加应力。

有序强化,有序合金中的位错是超位错,要使金属发生塑性变形就需要使超位错的两个分位错同时运动,因而需要更大的外应力。异类元素原子间的结合力大于同类元素原子间的结合力,所以异类原子的有序排列赋予有序合金较高的强度。

六、随退火温度的升高或退火时间的延长,形变组织中的位错缠结演变为亚晶,亚晶进行合并长大;在形变不均匀区内发生再结晶形核及长大,等轴晶取代形变长条晶粒;随后是晶粒正常长大。在性能上,强度、硬度下降,电阻下降;塑性、韧性提高。这些过程在再结晶阶段比回复阶段更显著。

优先形核地点为:原始晶界、形变时形成的新大角晶界处或通过亚晶长大而

逐步形成的大角晶界、第二相粒子附近等。

再结晶只是一种组织变化,没有结构变化,驱动力是形变储能;结晶是非晶态的液相、气相或固态非晶体中形成晶体的过程;固态相变是固/固相的结构变化。后两者的驱动力都是化学自由能差。

## 七、

1. 影响扩散的因素:①温度的影响。温度越高,扩散越快。②晶体结构的影响。结构不同,扩散系数不同。③固溶体类型对扩散的影响。不同的固溶体,原子的扩散和机制不同。④固溶体浓度对扩散的影响。浓度越大,扩散越容易。⑤晶体缺陷的影响。晶界、位错、空位都会对扩散产生影响。⑥化学成分对扩散的影响。加入化学元素对扩散会产生阻碍。

2. 根据 Fe-O 相图,在 1000℃ 下当表明氧浓度达到 31% 时,则由表面向内依次出现  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 、FeO 氧化层,最内侧是  $\gamma\text{-Fe}$ ,如图 12-2 所示。随着扩散的进行,氧化层逐渐增厚并向内部推行。

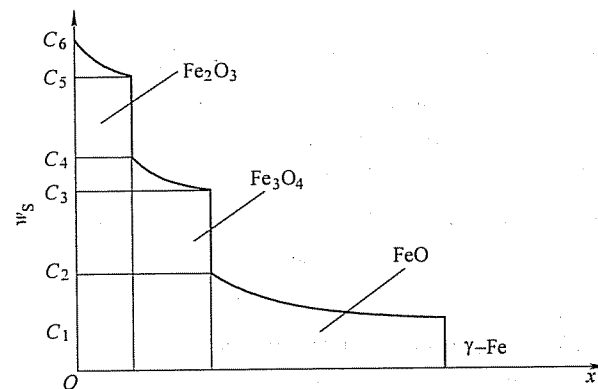


图 12-2 第七题第 2 小题解答图

# 南京工业大学

## 试 卷 十 三

### 2007 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料物理化学

适用专业：材料学、材料物理与化学、材料加工工程

一、(每小题 1 分, 共 16 分) 是非题 (正确的打“√”, 错误的打“×”)

1. 在正交晶系中 (011) 面是平行于  $a$  轴的晶面。
2. 存在 4 根 3 次轴的晶体必定属于立方晶系。
3. 鲍林规则适用于共价键的晶体结构。
4. 硅酸盐晶体结构中, 按硅氧四面体排列方式的变化, 桥氧数可由 1 ~ 4 变化。
5. 刃位错的位错线垂直于滑移方向。
6. 一般能够实际进行的纯固相反应是放热的。
7. 在写缺陷反应方程时必须保持正确的位置关系。
8. 非化学计量化合物结构缺陷也是一种杂质缺陷。
9. 菲克扩散定律是根据微观扩散特点与规律而总结得出的。
10. 3T 图中的临界冷却速度越大, 则意味着熔体越容易形成玻璃。
11. 粘土泥浆的触变性是由于粘土泥浆中存在不完全胶溶。
12. 在固液界面的润湿中, 增加固体表面的粗糙度就一定有利于润湿。
13. 相变过程是一个物理过程。
14. 杨德尔方程比金斯特林格方程的适用范围大。
15. 固相反应速度与反应物的浓度成正比。
16. 晶粒生长与再结晶过程与烧结过程 (即烧结一开始) 是同时进行的。

二、(每小题 1.5 分, 共 18 分) 选择题

1. 空间点阵是对晶体结构中的\_\_\_\_\_抽象而得到的。  
a. 原子      b. 离子      c. 几何点      d. 等同点

2. 根据整数定律, 晶体结构中的坐标轴应该选取\_\_\_\_\_的方向。

- a. 相互垂直      b. 密排面      c. 晶体中行列

3. 空间群为  $Fm\bar{3}m$  的晶体结构属于\_\_\_\_\_ (A) 晶族, \_\_\_\_\_ (B) 晶系。

- a. 高级      b. 中级      c. 低级      d. 等轴  
e. 六方      f. 四方      g. 正交

4. 在非化学计量化合物  $ZrO_{2-x}$  中存在的晶格缺陷是\_\_\_\_\_。

- a. 阴离子空位      b. 阳离子空位      c. 阴离子填隙      d. 阳离子填隙

5.  $a \neq b \neq c$ ,  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  的晶体属于\_\_\_\_\_晶系。

- a. 立方      b. 六方      c. 四方      d. 正交

6. 熔体是\_\_\_\_\_的混合物。

- a. 相同聚合度的聚合物和游离碱  
b. 不同聚合程度的各种聚合物  
c. 各种低聚物  
d. 各种高聚物

7. 在  $UO_2$  晶体中,  $O^{2-}$  的扩散是按\_\_\_\_\_机制进行的。

- a. 空位      b. 间隙      c. 掺杂点缺陷

8. 液固相变时, 非均匀成核位垒与接触角  $\theta$  有关, 当\_\_\_\_\_时, 非均匀成核位垒比均匀成核位垒降低一半。

- a.  $\theta = 0^\circ$       b.  $\theta = 45^\circ$       c.  $\theta = 90^\circ$       d.  $\theta = 180^\circ$

9. 三元系统相图中, 若存在有  $n$  条界线, 则此系统相图中能连接出\_\_\_\_\_条连线。

- a. 3      b.  $n-1$       c.  $n$       d.  $n+1$

10. 在烧结过程中, 只使坯体的强度逐渐增加, 而坯体不发生收缩的传质方式是\_\_\_\_\_。

- a. 晶格扩散      b. 流动传质      c. 蒸发-凝聚      d. 溶解-沉淀

11. 在扩散系数的热力学关系中,  $\left(1 + \frac{\partial \ln \gamma_i}{\partial \ln N_i}\right)$  称为扩散系数的热力学因子。

在非理想混合体系中:

当扩散系数的热力学因子  $> 0$  时, 扩散结果使溶质\_\_\_\_\_;

当扩散系数的热力学因子  $< 0$  时, 扩散结果使溶质\_\_\_\_\_。

- a. 发生偏聚      b. 浓度不改变      c. 浓度趋于均匀

12. 大多数固相反应处于\_\_\_\_\_。

- a. 化学反应动力学范围      b. 扩散动力学范围      c. 过渡范围

三、(1 ~ 8 每小题 2 分, 9 ~ 12 每小题 3 分, 共 28 分) 填空题

1. 对应于七个晶系可能存在的空间格子形式有 \_\_\_\_\_ (1) 种。

2. 晶胞是 (2), 其 (3) 和 (4) 与对应的单位平行六面体一致。
3. 在等大球体的最紧密堆积中, 立方紧密堆积的排列方式是 (5), 其密排面应平行于 (6)。当由  $n$  个球构成立方紧密堆积时, 其四面体空隙数为 (7), 八面体空隙数为 (8)。
4. 立方晶系中不可能存在底心格子的原因是 (9)。
5. 晶体结构与它的 (10)、(11) 和 (12) 有关。
6. 当有 6mol% 的 MgO 加入到  $\text{UO}_2$  晶格中形成置换型固溶体, 试写出其缺陷反应方程式 (13) 和固溶式 (14)。
7. 玻璃具有各向同性的原因是 (15)。
8. 在玻璃性质随温度变化的曲线上有两个特征温度 (16) 和 (17), 与这两个特征温度相对应的粘度分别为 (18) 和 (19)。
9. 在固-液界面的润湿中, 改善润湿的方法有 (20)、(21) 和 (22)。
10. 斜长石  $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$  与钙长石  $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$  可以形成 (23) 型固溶体, 其中斜长石中的 (24) 和钙长石中的 (25) 可以相互替代。
11. 马氏体相变的结晶学特征表现为: (26)、(27) 和 (28) 等。
12. 有一原始粒径为  $5\mu\text{m}$  的坯体, 烧结 2h 后  $x/r=0.1$ , 若烧结至  $x/r=0.2$  (不考虑晶粒生长), 则分别由四种典型的传质方式 (29)、(30)、(31) 和 (32) 进行烧结时, 各需要烧结时间 (33)、(34)、(35) 和 (36)。

#### 四、(每小题 4 分, 共 16 分) 名词解释 (任选四小题, 如果全做只取前四题)

1. 同质多晶
2. 一级相变
3. 组分缺陷
4. 粘土胶体的电动电位
5. 反尖晶石结构
6. 相图中的自由度

#### 五、(每小题 8 分, 共 24 分) 计算题 (任选三小题, 如果全做只取前三题)

1. 一种玻璃的化学组成为: 24mol%  $\text{Na}_2\text{O}$ 、12mol%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、64mol%  $\text{SiO}_2$ , 试计算该玻璃的四个结构参数  $Z$ 、 $R$ 、 $X$  和  $Y$ 。
2. Pb 是面心立方结构, 原子半径为  $0.1750\text{nm}$ , 求它的单位晶胞体积。
3. 非化学计量化合物缺陷浓度与周围气氛的性质、分压有关, 当增大氧气分压时, 通过计算说明  $\text{Zn}_{1+x}\text{O}$  和  $\text{TiO}_{2-x}$  的密度将发生什么样的变化。
4. 在制造  $\text{Al}_2\text{O}_3$  陶瓷时, 原料的粒度为  $2\mu\text{m}$ 。在烧结温度下保温 30min, 测得晶粒尺寸为  $10\mu\text{m}$ , 则在同一烧结温度下保温 2h 后, 晶粒尺寸为多少  $\mu\text{m}$ ? 为抑制晶粒生长在原料粉末中加入 0.2% MgO, 并在同样的烧结温度下保温 2h, 则

晶粒尺寸为多少  $\mu\text{m}$ ?

#### 六、(每小题 10 分, 共 30 分) 论述题 (任选三小题, 如果全做只取前三题)

1. 简述泥浆胶溶的机理, 以及泥浆胶溶必须具备的条件。
2. 试从结构上比较硅酸盐晶体与硅酸盐玻璃的区别。
3. 何为本征扩散与非本征扩散? 并讨论两者的扩散系数、扩散活化能和特点。
4. 何为晶粒生长与二次再结晶? 简述晶粒生长与二次再结晶的区别, 并根据晶粒的极限尺寸讨论晶粒生长的过程。

#### 七、(共 18 分) A-B-C 三元相图如图 13-1 所示。

1. 划分三角形。
2. 标出界线的性质 (共熔界线用单箭头, 转熔界线用双箭头)。
3. 指出化合物 S 的性质。
4. 说明 E、F、H 点的性质, 并列出相变式。
5. 分析 M 点的析晶路程 (表明液、固相组成点的变化, 并在液相变化的路径中注明各阶段的相变化和自由度)。

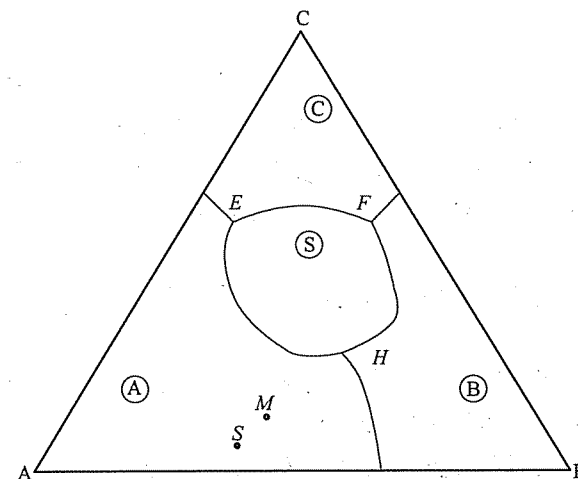


图 13-1 第七题图

## 标准答案

- 一、  
1.  $\checkmark$ ; 2.  $\checkmark$ ; 3.  $\times$ ; 4.  $\times$ ; 5.  $\checkmark$ ; 6.  $\checkmark$ ; 7.  $\checkmark$ ; 8.  $\times$ ; 9.  $\times$ ;

10. ×; 11. √; 12. ×; 13. √; 14. ×; 15. ×; 16. ×

## 二、

1. d; 2. c; 3. a、d; 4. a; 5. d; 6. b; 7. b; 8. c; 9. c; 10. c;  
11. c、a; 12. b

## 三、

- (1) 14;
- (2) 能充分反映晶体结构特征的最小单位; (3) 形状; (4) 大小
- (5) ABCABC; (6) (111); (7)  $2n$ ; (8)  $n$
- (9) 在立方晶系中若存在底心格子, 则立方晶系所特有的  $4L^3$  状将不再存在, 不符合立方晶系的对称特点。
- (10) 化学组成; (11) 质点的相对大小; (12) 极化性质
- (13)  $\text{MgO} \xrightarrow{\text{UO}_2} \text{Mg}_U'' + \text{O}_O + \text{V}_O''$ ; (14)  $\text{U}_{0.94}\text{Mg}_{0.06}\text{O}_{1.94}$
- (15) 玻璃结构的远程无序, 宏观上表现出统计均质
- (16)  $T_g$ ; (17)  $T_f$ ; (18)  $10^{13} \text{dPa} \cdot \text{s}$ ; (19)  $10^8 \text{dPa} \cdot \text{s}$
- (20) 降低固液界面能; (21) 提高固体的表面能; (22) 改变固体的表面粗糙度
- (23) 连续置换型固溶体; (24)  $\text{Na}^+$  和  $\text{Si}^{4+}$ ; (25)  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Al}^{3+}$
- (26) 存在习性平面; (27) 严格的取向关系; (28) 维持共格关系
- (29) 蒸发-凝聚传质; (30) 扩散传质; (31) 流动传质; (32) 溶解-沉淀传质; (33) 16h; (34) 64h; (35) 8h; (36) 128h

## 四、

- 同质多晶: 化学组成相同的物质, 在不同的热力学条件下会形成结构不同的晶体。
- 一级相变: 相变时两相的化学势相等, 但化学势的一阶偏微商不相等。发生一级相变时有相变潜热和体积的变化。
- 组分缺陷: 在不等价置换的固溶体中, 为了保持晶体的电中性, 必然会在晶体中产生空位或间隙离子, 这种晶体缺陷就称为组分缺陷。
- 粘土胶体的电动电位: 带电粘土胶体分散在水中时, 在胶体颗粒和液相的界面上会有扩散双电层出现, 吸附层与扩散层各带相反电荷, 相对移动时两者之间存在的电位差称为电动电位。
- 反尖晶石结构: 属于立方晶系, 其中氧离子可以看成是按立方紧密堆积排列, 二价阳离子 A 填充在八面体空隙中, 三价阳离子 B 一半填充在八面体空隙中, 一半填充在四面体空隙中。
- 相图中的自由度: 在相平衡系统中, 在一定范围内可以任意改变而不引

起旧相消失或新相产生的独立变量称为自由度。

## 五、

1. 转换成  $6\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 16\text{SiO}_2$ ;  $Z=4$ ;  $R=2.17$ ;  $Y=3.66$ ;  $X=0.34$ 。

2.  $V=a^3=(2\sqrt{2}r)^3=0.1212\text{nm}^3$ 。

3.  $\text{ZnO} \longleftrightarrow \text{Zn}_i'' + 2e' + \frac{1}{2}\text{O}_2$ ;  $\text{Zn}_{1+x}\text{O}$ ; 锌的间隙离子浓度与氧分压成反比,

当氧分压增加时,  $\text{Zn}_{1+x}\text{O}$  中的  $x$  值减小, 则其密度降低; 同理,  $\text{TiO}_{2-x}$  中的  $x$  值增大, 则其密度也同样降低。

4.  $d_1=20\mu\text{m}$  ( $D^2=kt$ );  $d_2=16\mu\text{m}$  ( $D^3=kt$ )

## 六、

1. 泥浆胶溶的机理: 由于片状粘土边面、板面带电的不同, 而产生面-面、边-面或边-边结合, 泥浆形成一定的结构使流动阻力增加, 泥浆胶溶过程就是拆开泥浆的内部结构, 使边-面、边-边结合转变为面-面排列。

泥浆胶溶必须具备的条件: ①介质呈碱性, ②必须有一价碱金属阳离子交换粘土中原来吸附的高价离子, ③阴离子的聚合作用。

2. 硅酸盐晶体与硅酸盐玻璃的区别: ①硅酸盐晶体中硅氧骨架按一定的对称规律有序排列; 在硅酸盐玻璃中硅氧骨架排列是无序的。②在硅酸盐晶体中骨架外的金属离子占据了点阵的一定位置; 而在硅酸盐玻璃中网络变性离子统计地分布在骨架的空隙内, 使氧的负电荷得以平衡。③在硅酸盐晶体中只有当外来阳离子半径与晶体中阳离子半径相近时, 才能发生同晶置换; 在硅酸盐玻璃中则不论半径如何, 骨架外阳离子均能发生置换, 只要求遵守电中性。④在晶体中原始组成(氧化物)相互间有简单的固定数量比例; 而在玻璃中氧化物几乎以任意比例混合。

3. 本征扩散: 是指空位来源于晶体的本征热缺陷而引起的迁移现象。本征扩散的活化能由空位形成能和质点迁移能两部分组成, 高温时以本征扩散为主。

非本征扩散: 是由不等价杂质离子的掺杂造成空位, 由此而引起的迁移现象。非本征扩散的活化能只包含质点迁移能, 低温时以非本征扩散为主。

4. 晶粒生长是无应变的材料在热处理时, 平均晶粒尺寸在不改变其分布的情况下, 连续增大的过程。在坯体内晶粒尺寸均匀地生长, 晶粒生长时气孔都维持在晶界上或晶界交汇处。二次再结晶是少数巨大晶粒在细晶消耗时的一种异常长大过程, 是个别晶粒的异常生长。二次再结晶时气孔被包裹到晶粒内部。二次再结晶还与原料粒径有关。

造成二次再结晶的原因: 原料粒径不均匀, 烧结温度偏高, 烧结速率太快。

晶粒生长过程略。

防止二次再结晶的方法: 控制烧结温度、烧结时间, 控制原料粒径的均匀

性, 引入烧结添加剂。

七、

1. 划分成两个分三角形, 如图 13-2 所示。
2. 如图 13-2 所示。

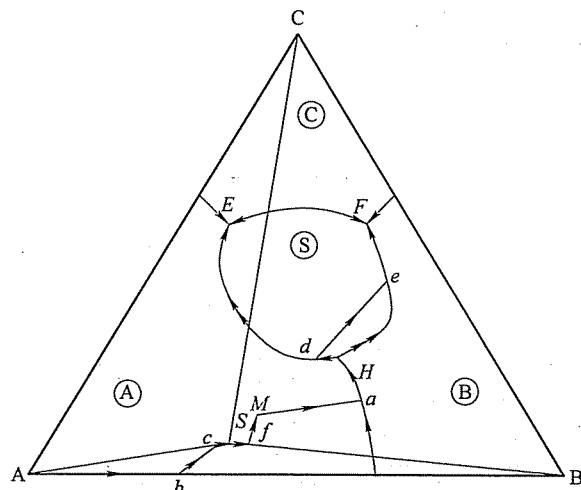
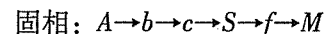
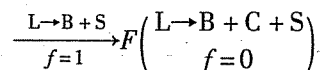
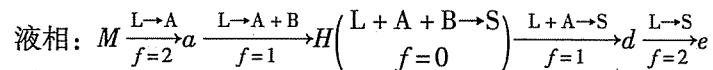


图 13-2 第七题解答图

3. S: 不一致熔三元化合物。
4. H: 双转熔点  $L_H + A + B \rightarrow S_2$
- E: 低共熔点  $L_E \rightarrow A + C + S_2$
- F: 低共熔点  $L_F \rightarrow C + S_1 + S_2$
- 5.



## 试 卷 十 四

### 2008 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目: 材料物理化学

适用专业: 材料学、材料物理与化学、材料加工工程

一、(每小题 1 分, 共 15 分) 是非题 (正确的打“√”, 错误的打“×”)

1. 在宏观晶体中进行对称操作时晶体的中心点是不动的。
2. 晶面在三个坐标轴上的截距之比一定为一简单的整数比。
3. 微观对称要素的核心是平移轴。
4. 螺位错的位错线平行于滑移方向。
5. 玻璃在常温下能长期稳定存在, 因而它是热力学稳定态。
6. 化学组成不同的晶体其结构也一定不同。
7. 相图表示的是体系的热力学平衡状态。
8. 有序-无序转变是指晶体与非晶体之间的转变。
9. 大多数固相反应是由界面上的化学反应速度所控制的。
10. 烧结是一个包含了多种物理和化学变化的过程。
11. 在低温时, 一般固体材料中发生的扩散是本征扩散。
12. 在固液界面的润湿中, 增加固体表面的粗糙度, 就一定有利于润湿。
13. 扩散过程的推动力是浓度梯度。
14. 硅酸盐熔体的粘度随碱金属氧化物含量的增加而迅速增大。
15. 烧结过程的推动力是晶界能大于表面能。

二、(每小题 1.5 分, 共 18 分) 选择题

1. 在尖晶石 ( $MgAl_2O_4$ ) 结构中,  $O^{2-}$  作立方密堆,  $Mg^{2+}$  离子填入\_\_\_\_\_。

- |               |               |
|---------------|---------------|
| a. 1/2 的四面体空隙 | b. 1/2 的八面体空隙 |
| c. 1/8 的四面体空隙 | d. 1/8 的八面体空隙 |

2. 在正交晶系中, 可能存在的空间格子类型为\_\_\_\_\_。

- |            |            |            |               |
|------------|------------|------------|---------------|
| a. P, I, C | b. P, I, F | c. P, C, F | d. P, F, I, C |
|------------|------------|------------|---------------|

3. 高岭石属于层状硅酸盐结构, 其结构特征是\_\_\_\_\_。

- |              |              |
|--------------|--------------|
| a. 二层型三八面体结构 | b. 三层型三八面体结构 |
| c. 二层型二八面体结构 | d. 三层型二八面体结构 |

4. 在非化学计量化合物  $\text{Cd}_{1+x}\text{O}$  中存在的非化学计量结构缺陷类型是\_\_\_\_\_。

- a. 阴离子空位    b. 阳离子空位    c. 阴离子填隙    d. 阳离子填隙

5. 在各种层状硅酸盐结构中, 晶胞参数相近的是\_\_\_\_\_。

- a.  $a_0$  和  $b_0$     b.  $a_0$  和  $c_0$     c.  $c_0$  和  $b_0$     d.  $c_0$

6. 离子晶体通常借助表面离子的极化变形和重排来降低其表面能, 对于下列离子晶体的表面能, 最小的是\_\_\_\_\_。

- a.  $\text{CaF}_2$     b.  $\text{PbF}_2$     c.  $\text{PbI}_2$     d.  $\text{BaSO}_4$     e.  $\text{SrSO}_4$

7. 熔体是\_\_\_\_\_的混合物。

- a. 相同聚合度的聚合物和游离碱    b. 不同聚合程度的各种聚合物  
c. 各种低聚物    d. 各种高聚物

8. 与玻璃形成温度  $T_g$  相对应的粘度为\_\_\_\_\_。

- a.  $10^8 \text{ dPa} \cdot \text{s}$     b.  $10^{10} \text{ dPa} \cdot \text{s}$     c.  $10^{11} \text{ dPa} \cdot \text{s}$     d.  $10^{13} \text{ dPa} \cdot \text{s}$

9. 在扩散系数的热力学关系中,  $\left(1 + \frac{\partial \ln \gamma_i}{\partial \ln N_i}\right)$  称为扩散系数的热力学因子。在非理想混合体系中:

当扩散系数的热力学因子  $> 0$  时, 扩散结果使溶质\_\_\_\_\_;

当扩散系数的热力学因子  $< 0$  时, 扩散结果使溶质\_\_\_\_\_。

- a. 发生偏聚    b. 浓度不改变    c. 浓度趋于均匀

10. 在烧结过程中, 只改变气孔形状而不引起坯体收缩的传质方式是\_\_\_\_\_。

- a. 扩散传质    b. 流动传质  
c. 蒸发-凝聚传质    d. 晶界扩散

11. 在固相反应的计算中, 金斯特林格方程比杨德方程的适用范围宽, 两者最大的差别是\_\_\_\_\_。

- a. 计算方法不同  
b. 前者以不稳定扩散方程求解  
c. 几何模型不同

12. 在三元凝聚系统相图中, 若存在有  $n$  条界线, 则此相图中存在的连线数必是\_\_\_\_\_。

- a.  $(n+1)$  条    b.  $(n-1)$  条    c.  $n$  条    d. 没有

三、(1~8 每小题 2 分, 9~12 每小题 3 分, 共 28 分) 填充题

1. 鲍林规则适用于\_\_\_\_\_晶体结构。

2. 晶体的本质是\_\_\_\_\_。

3. 选取空间点阵的单位平行六面体时, 其首要原则是\_\_\_\_\_。

4. 同质多晶现象是指\_\_\_\_\_。

5. 空间群为  $\text{Fm}\bar{3}\text{m}$  的晶体具有\_\_\_\_\_结构。

6. 粘土泥浆胶溶的条件是\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。

7. 菲克第一定律适用于求解\_\_\_\_\_；菲克第二定律适用于求解\_\_\_\_\_。

8. 扩散的空位机构是指\_\_\_\_\_。

9. 玻璃具有下列通性: \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。

10. 本征扩散是由\_\_\_\_\_而引起的质点迁移, 本征扩散的活化能由\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两部分组成, 扩散系数与温度的关系式为: \_\_\_\_\_。

11. 由于\_\_\_\_\_的结果, 必然会在晶体结构中产生“组分缺陷”, 组分缺陷的浓度主要取决于: \_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。

12. 烧结的主要传质方式有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_四种。这四种传质过程的  $\Delta L/L$  与烧结时间的关系依次为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。

四、(每小题 5 分, 共 20 分) 名词解释 (任选四题, 如果全做只取前四题)

1. 晶胞    2. 一级相变  
3. 弗伦克尔 (Frenkel) 缺陷    4. 连线规则  
5. 均匀成核    6. 烧结

五、(每小题 8 分, 共 24 分) 计算题 (任选三题, 如果全做只取前三题)

1. 试计算  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$  玻璃的四个结构参数  $Z$ 、 $R$ 、 $X$  和  $Y$ 。

2. 试写出 20mol%  $\text{YF}_3$  掺杂到  $\text{CaF}_2$  中的缺陷反应方程式, 并从结晶化学的观点讨论其合理性; 同时写出对应的固溶式。

3. 具有面心立方结构的 AB 型化合物晶体, 该 AB 化合物的分子量为 26, 测得其密度为  $2.6 \text{ g/cm}^3$ , 据此计算 AB 晶体的晶胞参数。

4. 某一粉末压块, 其粉末平均粒径为  $2 \mu\text{m}$ , 烧结至最高温度保温 0.5h, 测得晶粒尺寸为  $10 \mu\text{m}$ , 试问若保温 2h, 晶粒尺寸多大? 为抑制晶粒生长加入 0.1% 晶粒生长抑制剂, 若也保温 2h, 晶粒尺寸有多大?

六、(每小题 10 分, 共 30 分) 论述题 (任选三题, 如果全做只取前三题)

1. 简述形成连续置换型固溶体的条件是什么, 并举两个例子。

2. 试以  $\text{NaCl}$  晶胞为例, 说明面心立方密堆中的八面体空隙和四面体空隙的位置和数量。

3. 何为马氏体相变? 并简述马氏体相变的结晶学特征。

4. 何为晶粒生长与二次再结晶? 简述造成二次再结晶的原因和防止二次再



结晶的方法。

七、(共 15 分) A-B-C 三元相图如图 14-1 所示。

1. 划分分三角形。
2. 标出界线的性质(共熔界线用单箭头, 转熔界线用双箭头)。
3. 指出化合物 S 的性质。
4. 说明 E、H 点的性质, 并列出相变式。
5. 分析 M 点的析晶路程(表明液、固相组成点的变化, 并在液相变化的路径中注明各阶段的相变化和自由度数)。

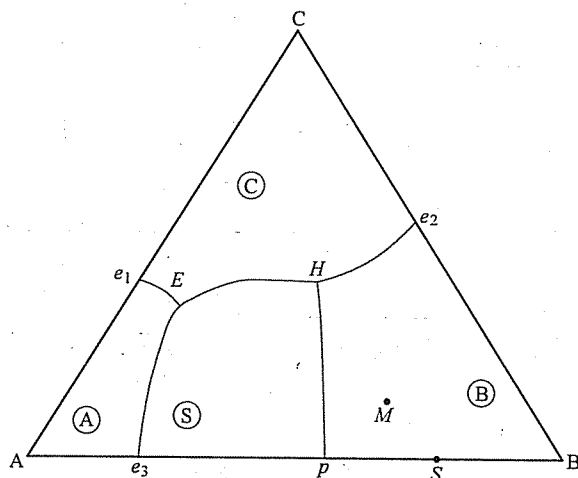


图 14-1 第七题图

## 标准答案

一、

1.  $\checkmark$ ; 2.  $\checkmark$ ; 3.  $\checkmark$ ; 4.  $\checkmark$ ; 5.  $\times$ ; 6.  $\times$ ; 7.  $\checkmark$ ; 8.  $\times$ ; 9.  $\times$ ; 10.  $\times$ ;
11.  $\times$ ; 12.  $\times$ ; 13.  $\times$ ; 14.  $\times$ ; 15.  $\times$

二、

1. c; 2. d; 3. c; 4. d; 5. a; 6. c; 7. b; 8. d; 9. c、a; 10. c; 11. c; 12. c

三、

1. (1) 离子
2. (2) 质点在三维空间成周期性重复排列
3. (3) 单位平行六面体的对称性应符合整个空间点阵的对称性

4. (4) 化学组成相同的物质在不同的热力学条件下, 形成结构不同的晶体

5. (5) 面心立方结构

6. (6) 介质呈碱性; (7) 一价碱金属阳离子交换原来的阳离子, (8) 阴离子的聚合作用

7. (9) 稳态扩散; (10) 不稳定扩散

8. (11) 晶格中存在空位时, 以空位迁移作为媒介的质点扩散方式

9. (12) 各向同性; (13) 介稳性; (14) 转换过程是可逆与渐变的; (15) 转化时性质变化连续

10. (16) 本征热缺陷所产生的空位; (17) 空位形成能; (18) 质点迁移

$$\text{能; (19) } D = D_0 \exp \left( - \frac{-\frac{\Delta H_f}{2} + \Delta H_m}{RT} \right)$$

11. (20) 不等价离子的掺杂; (21) 掺杂量; (22) 固溶度

12. (23) 蒸发-凝聚传质; (24) 扩散传质; (25) 流动传质; (26) 溶解-沉淀传质; (27)  $\frac{\Delta L}{L} = 0$ ; (28)  $\frac{\Delta L}{L} \propto t^{2/5}$ ; (29)  $\frac{\Delta L}{L} \propto t$ ; (30)  $\frac{\Delta L}{L} \propto t^{1/3}$

四、

1. 晶胞: 晶胞是指能充分反映晶体结构特征的最小结构单位。

2. 一级相变: 相变时两相的化学势相等, 但化学势的一阶偏微商不相等, 发生一级相变时有相变潜热和体积的变化。

3. 弗伦克尔 (Frenker) 缺陷: 当晶格热振动时, 一些能量足够大的原子离开其平衡位置, 而挤到晶格的间隙中, 形成间隙原子, 并在原正常格点上留下空位。

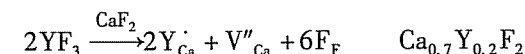
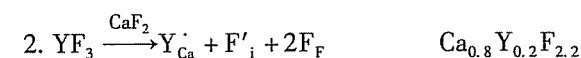
4. 连线规则: 在三元系统中如果相邻两个相区(初晶区)的界线(或其延长线)与其相应的连线(或其延长线)相交, 则此交点是该界线上的温度最高点。

5. 均匀成核: 是指晶核从均匀的单相熔体中产生的几率处处相同。

6. 烧结: 一种或多种固体粉末经过成形, 在加热到一定温度后开始收缩, 在低于熔点温度下变成致密、坚硬的烧结体, 这种过程称为烧结。或: 由于固体中分子(或原子)的相互吸引, 通过加热, 使粉末体产生颗粒粘结, 经过物质的迁移、扩散使粉末体产生强度, 并导致密化和再结晶的过程称为烧结。

五、

1.  $Z=4$ ;  $R=9/4=2.25$ ;  $X=0.5$ ;  $Y=3.5$ 。



根据  $D^3 = kt$ ,  $d_2 = 16\mu\text{m}$ 。

## 六、

造成二次再结晶的原因：原料粒径不均匀，烧结温度偏高，烧结速率太快。  
防止二次再结晶的方法：控制烧结温度、烧结时间，控制原料粒径的均匀性，引入烧结添加剂。

## 七、

1. 划分成 2 个分三角形，如图 14-2 所示。
2. 如图 14-2 所示。
3. S: 不一致熔二元化合物。
4. E: 低共熔点  $L_F \rightarrow A + C + S$        $f=0$

固相:  $B \longrightarrow S \longrightarrow S \longrightarrow d \longrightarrow M$

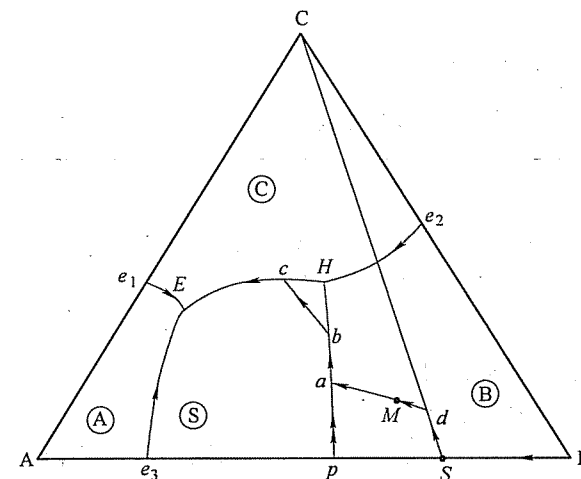


图 14-2 第七题解答图

## 试 卷 十 五

### 2009 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目: 材料物理化学

适用专业: 材料学、材料物理与化学、材料加工工程

一、(每小题 1 分, 共 12 分) 是非题 (正确的打“√”, 错误的打“×”)

1. 在宏观晶体中只存在 32 种不同的对称型。
2. 在正交晶系中, (001) 面必定垂直于 (110) 面。
3. 鲍林规则适用于所有的晶体结构。
4. 固溶体是一种溶解了杂质组分的非晶态固体。
5. 真实晶体在高于 0K 的任何温度下, 一定存在有热缺陷。
6. 3T 图中的临界冷却速度大, 则意味着容易形成玻璃, 而析晶困难。
7. 低价阳离子饱和的粘土, 其  $\zeta$ -电位高于高价阳离子饱和的粘土。
8. 三元相图中的三元无变量点都有可能成为析晶结束点。
9. 体系中的质点发生扩散时, 质点总是从高浓度处向低浓度处扩散。
10. 杨德尔方程比金斯特林格方程的适用范围小。
11. 晶胚的临界半径  $r_k$  随着  $\Delta T$  的增大而减小。
12. 有液相存在的烧结过程称为液相烧结。

二、(每小题 1.5 分, 共 18 分) 选择题

1. 在七大晶系中属于高级晶族的晶系有\_\_\_\_\_。  
a. 1 个      b. 2 个      c. 3 个      d. 4 个
2. 点群为  $L^66L^27PC$  的晶体结构属于\_\_\_\_\_晶系。  
a. 立方      b. 六方      c. 四方      d. 正交
3. 金刚石的晶体结构为\_\_\_\_\_, 其中碳原子的配位数是\_\_\_\_\_。  
a. 面心立方格子    b. 简单立方格子    c. 体心立方格子    d. 3  
e. 4      f. 6      g. 8
4. 高岭石属于\_\_\_\_\_的硅酸盐。  
a. 链状结构      b. 层状结构      c. 架状结构      d. 岛状结构
5. 在下列几类晶体中, 形成间隙型固溶体的次序是\_\_\_\_\_。  
a. 沸石 >  $\text{CaF}_2$  >  $\text{TiO}_2$  >  $\text{MgO}$       b.  $\text{MgO}$  >  $\text{TiO}_2$  >  $\text{CaF}_2$  > 沸石  
c.  $\text{CaF}_2$  >  $\text{TiO}_2$  >  $\text{MgO}$  > 沸石      d.  $\text{TiO}_2$  >  $\text{MgO}$  >  $\text{CaF}_2$  > 沸石

6. 大多数固相反应处于\_\_\_\_\_。

- a. 化学反应动力学范围
- b. 扩散动力学范围
- c. 过渡范围

7. 水型物质在熔融成液态时, 其体积发生\_\_\_\_\_现象。

- a. 膨胀      b. 收缩      c. 不变

8. 在低温下, 一般固体材料中发生的扩散是\_\_\_\_\_。

- a. 本征扩散      b. 非本征扩散      c. 无序扩散

9. 与玻璃软化温度  $T_f$  相对应的粘度为\_\_\_\_\_。

- a.  $10^5 \text{ dPa} \cdot \text{s}$       b.  $10^9 \text{ dPa} \cdot \text{s}$       c.  $10^{11} \text{ dPa} \cdot \text{s}$       d.  $10^{13} \text{ dPa} \cdot \text{s}$

10. 容易形成玻璃的物质往往具有\_\_\_\_\_之类的键型。

- a. 离子键      b. 金属键      c. 极性共价键      d. 共价键

11. 菲克第一定律可直接用于求解\_\_\_\_\_的问题。

- a. 稳定扩散      b. 不稳定扩散      c. 任何扩散

12. 在同一体系和相同的过冷度下, 非均匀成核速率总是\_\_\_\_\_均匀成核速率。

- a. 大于或等于      b. 小于或等于      c. 等于      d. 不一定

三、(每小题 2.5 分, 其中第 3、10 小题 4 分, 共 28 分) 填空题

1. 晶体具有 (1)、(2)、(3) 和 (4) 等基本性质。
2. 空间群是指 (5), 晶体结构中可能出现的空间群有 (6) 种。
3. 当有少量的  $\text{CaO}$  掺杂到  $\text{ThO}_2$  中时, 写出可能存在的缺陷反应方程式及其固溶式, 缺陷反应方程式: (7) 和 (8); 对应的固溶式: (9) 和 (10)。
4. 熔体是物质在液相温度以上存在的一种高能量状态, 熔体在冷却的过程中可以出现 (11)、(12) 和 (13) 三种不同的相变过程。
5. 根据扩散的热力学理论, 扩散过程的推动力是 (14), 而发生逆扩散的条件是 (15)。
6. 润湿是固液界面上的重要行为, 改善润湿的方法有 (16)、(17) 和 (18) 等。
7. 马氏体相变具有以下的一些特征: (19)、(20)、(21) 和 (22) 等。
8. 可逆多晶转变的特点是: (23)。
9. 二次再结晶是指 (24); 造成二次再结晶的原因有 (25)、(26) 和 (27) 等。
10. 固态烧结的主要传质方式有 (28)、(29), 而液相烧结的主

要传质方式有 (30) 和 (31)。这四种传质过程的  $\Delta L/L$  与烧结时间的关系依次为 (32)、(33)、(34) 和 (35)。

四、(每小题 5 分, 共 20 分) 名词解释 (任选四题, 如果全做只取前四题)

1. 单位平行六面体
2. 组分缺陷
3. 玻璃分相
4. 切线规则
5. 正尖晶石结构
6. 网络形成体

五、(每小题 8 分, 共 24 分) 计算题 (任选三题, 如果全做只取前三题)

1. 试计算  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$  玻璃的四个结构参数  $Z$ 、 $R$ 、 $X$  和  $Y$ , 以及该玻璃结构中的非桥氧百分数。

2. 当在  $\text{CaF}_2$  中加入 20mol% 的  $\text{YF}_3$  并形成固溶体时, 实验测得固溶体的密度为  $3.64\text{g/cm}^3$ , 这时的晶格参数为  $a = 0.55\text{nm}$ , 通过计算说明这种固溶体的类型。(其中原子量分别为  $\text{Y}88.9$ ,  $\text{Ca}40.0$ ,  $\text{F}19.0$ )

3. 在非化学计量化合物  $\text{Fe}_x\text{O}$  中,  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+} = 0.1$ , 求非化学计量化合物  $\text{Fe}_x\text{O}$  中的空位浓度以及  $x$  值。

4. 设有一个平均粒径为  $5\mu\text{m}$  的粉末压块, 经 2h 烧结后, 颈部增长率  $x/r = 0.1$ 。如果不考虑晶粒生长, 将坯体烧结至颈部增长率  $x/r = 0.2$  时, 试比较分别通过扩散传质和流动传质方式, 各需要多少时间。

六、(每小题 10 分, 共 30 分) 论述题 (任选三题, 如果全做只取前三题)

1. 简述产生非化学计量化合物结构缺陷的原因, 并说明四种不同类型非化学计量化合物结构缺陷的形成条件及其特点。

2. 为什么在立方晶系中存在原始格子、面心格子和体心格子, 而没有底心格子存在?

3. 何为本征扩散和非本征扩散? 并讨论两者之间的区别。

4. 试比较固相烧结与液相烧结之间的相同与不同之处, 并讨论产生溶解-沉淀传质的条件与特点。

七、(共 18 分) A-B-C 三元相图如图 15-1 所示。

1. 划分分三角形。

2. 标出界线的性质 (共熔界线用单箭头, 转熔界线用双箭头)。

3. 指出化合物 S、D 的性质。

4. 说明 E、H、R 点的性质, 并列出相变式。

5. 分析 M 点的析晶路程 (表明液、固相组成点的变化, 并在液相变化的路径中注明各阶段的相变化和自由度数)。

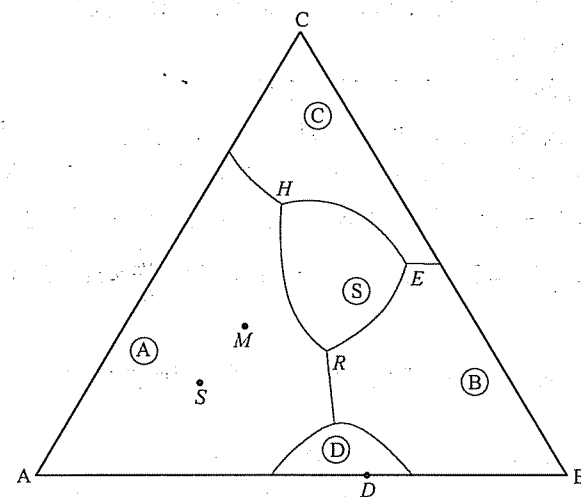


图 15-1 第七题图

## 标准答案

一、

1.  $\checkmark$ ; 2.  $\checkmark$ ; 3.  $\times$ ; 4.  $\times$ ; 5.  $\checkmark$ ; 6.  $\times$ ; 7.  $\checkmark$ ; 8.  $\times$ ; 9.  $\times$ ; 10.  $\checkmark$ ;  
11.  $\checkmark$ ; 12.  $\times$

二、

1. a; 2. b; 3. a、e; 4. b; 5. a; 6. b; 7. b; 8. b; 9. b; 10. c; 11. a; 12. a

三、

1. (1) 对称性; (2) 结晶均一性; (3) 各向异性; (4) 自限性 (或最小内能性)

2. (5) 晶体结构中一切对称要素的集合; (6) 230

3. (7)  $\text{CaO} \xrightarrow{\text{ThO}_2} \text{Ca}_{\text{Th}}'' + \text{O}_0 + \text{V}_0''$ ; (8)  $\text{Th}_{1-x}\text{Ca}_x\text{O}_{2-x}$ ;

(9)  $2\text{CaO} \xrightarrow{\text{ThO}_2} \text{Ca}_{\text{Th}}'' + \text{Ca}_i'' + 2\text{O}_0$ ; (10)  $\text{Th}_{1-x}\text{Ca}_{2x}\text{O}_2$

4. (11) 结晶化; (12) 玻璃化; (13) 分相

5. (14) 化学位梯度; (15)  $\left(1 + \frac{\partial \ln \gamma_i}{\partial \ln N_i}\right) < 0$  或扩散系数的热力学因子小于 0

6. (16) 降低固-液界面能; (17) 提高固体的表面能 (去除固体表面吸附膜); (18) 改变表面粗糙度

7. (19) 存在习性平面; (20) 取向关系; (21) 无扩散性; (22) 速度快 (或没有特定的相变温度)

8. (23) 多晶转变温度低于两种晶型的熔点

9. (24) 在烧结的中、后期, 少数巨大的晶粒在细晶粒消耗时的一种异常长大过程; (25) 原料粒径不均匀; (26) 烧结温度偏高; (27) 烧结速率太快

10. (28) 蒸发-凝聚传质; (29) 扩散传质; (30) 流动传质; (31) 溶解-沉淀传质; (32)  $\frac{\Delta L}{L}=0$ ; (33)  $\frac{\Delta L}{L} \propto t^{2/5}$ ; (34)  $\frac{\Delta L}{L} \propto t$ ; (35)  $\frac{\Delta L}{L} \propto t^{1/3}$

#### 四、

1. 单位平行六面体: 在空间点阵中按选择原则选取的平行六面体, 称为单位平行六面体。

2. 组分缺陷: 由于不等价离子的掺杂, 为了保持晶体的电中性, 必然会在晶体结构中产生空位或间隙离子的缺陷, 这种缺陷称为“组分缺陷”。

3. 玻璃分相: 一个均匀的玻璃相在一定的温度和组成范围内有可能分成两个互不溶解或部分溶解的玻璃相, 并相互共存, 这种现象称为玻璃分相。

4. 切线规则: 将界线上某一点所作的切线与相应的连线相交, 如交点在连线上, 则表示界线上该处具有共熔性质; 如交点在连线的延长线上, 则表示界线上该处具有转熔性质, 远离交点的晶相被转熔。

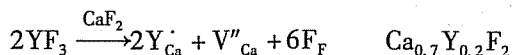
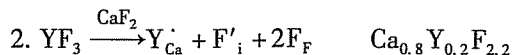
5. 正尖晶石结构: 属于立方晶系, 其中氧离子可以看成是按立方紧密堆积排列, 二价阳离子 A 填充在八分之一的四面体空隙中, 三价阳离子 B 填充在二分之一的八面体空隙中。

6. 网络形成体: 单键能  $\geq 335 \text{ kJ/mol}$ 、能单独形成玻璃的物质。

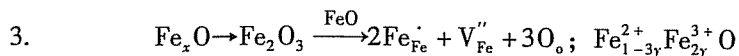
#### 五、

1.  $Z=4$ ;  $R=11/5=2.2$ ;  $X=0.4$ ;  $Y=3.6$

非桥氧百分数  $= X/(X+Y/2) \times 100\% = 0.4/(0.4+1.8) \times 100\% = 18.2\%$



萤石型晶体结构的单位晶胞内有 4 个  $\text{CaF}_2$ ,  $\rho_{\text{理}} = 3.34 \text{ g/cm}^3$ ;  $\rho_{\text{测}} = 3.65 \text{ g/cm}^3$ ;  $\rho_{\text{测}}$  与实测  $\rho$  ( $3.64 \text{ g/cm}^3$ ) 相近, 所以在该条件下形成的是填隙型固溶体。



$$\frac{2y}{1-3y} = 1/10$$

$y = 1/23$ ,  $y = 0.043$ , 则  $x = 1 - y = 0.957$ , 空位浓度为  $0.043/(1+0.957) = 2.2\%$ 。

4. 扩散:  $\frac{x}{r} = kr^{-3/5}t^{1/5}$ , 将  $\frac{x}{r} = 0.1$ ,  $r = 5 \mu\text{m}$ ,  $t = 2$  代入求  $k$ 。

再将  $\frac{x}{r} = 0.2$ ,  $r = 5 \mu\text{m}$  及  $k$  代入求  $t$ 。扩散传质需 64h。

流动:  $\frac{x}{r} = kr^{-1/2}t^{1/2}$ , 将  $\frac{x}{r} = 0.1$ ,  $r = 5 \mu\text{m}$ ,  $t = 2$  代入求  $k$ 。

再将  $\frac{x}{r} = 0.2$ ,  $r = 5 \mu\text{m}$  及  $k$  代入求  $t$ 。流动传质需 8h。

#### 六、

1. 产生原因: 含有变价元素, 周围气氛的性质发生变化。

阴离子空位型: 在还原性气氛下, 高价态变成低价态, n 型半导体。

阳离子填隙型: 在还原性气氛下, 高价态变成低价态, n 型半导体。

阴离子填隙型: 在氧化性气氛下, 低价态变成高价态, p 型半导体。

阳离子空位型: 在氧化性气氛下, 低价态变成高价态, p 型半导体。

2. 立方晶系的特点是存在  $4L^3$  轴, 在立方晶系的原始格子、面心格子和体心格子中存在  $4L^3$  轴。如果在立方晶系中有底心格子, 但立方晶系的底心格子中  $4L^3$  轴不可能存在, 因此底心格子不符合立方晶系的对称特点, 它不能存在于立方晶系中。

3. 本征扩散: 是指空位来源于晶体的本征热缺陷而引起的迁移现象。本征扩散的活化能由空位形成能和质点迁移能两部分组成, 高温时以本征扩散为主。

非本征扩散: 是由不等价杂质离子的掺杂造成空位, 由此而引起的迁移现象。非本征扩散的活化能只包含质点迁移能, 低温时以非本征扩散为主。

4. 固相烧结与液相烧结之间的相同之处: 烧结的推动力都是表面能, 烧结过程都是由颗粒重排、气孔填充和晶粒生长等阶段组成的。不同之处: 由于流动传质速率比扩散速率快, 因而液相烧结致密化速率高, 烧结温度较低。此外, 液相烧结过程的速率还与液相数量、性质 (粘度、表面张力等)、液相与固相的润湿情况、固相在液相中的溶解度等因素有关。影响液相烧结的因素比固相烧结更为复杂。

溶解-沉淀传质的条件是: 有可观的液相量, 固相在液相中的溶解度大, 液相能润湿固相; 特点是: 在颗粒的接触点溶解到平面上沉积, 小晶粒溶解到大晶粒处沉积, 传质的同时又是晶粒的生长过程。

#### 七、

1. 划分成 3 个分三角形, 如图 15-2 所示。

2. 如图 15-2 所示。

3. S: 不一致熔三元化合物; D: 一致熔二元化合物。

4. E: 低共熔点  $L_E \rightarrow B + C + S$   $f=0$

H: 单转熔点  $L_H + A \rightarrow S + C$   $f=0$

R: 单转熔点  $L_R + A \rightarrow S + B$   $f=0$

5.

液相:  $M \xrightarrow[f=2]{L \rightarrow A} a \xrightarrow[f=1]{L+A \rightarrow S} b \xrightarrow[f=2]{L \rightarrow S} c \xrightarrow[f=1]{L \rightarrow C+S} E \left( \begin{matrix} L \rightarrow B+C+S \\ f=0 \end{matrix} \right)$

固相:  $A \rightarrow A \rightarrow S \rightarrow S \rightarrow d \rightarrow M$

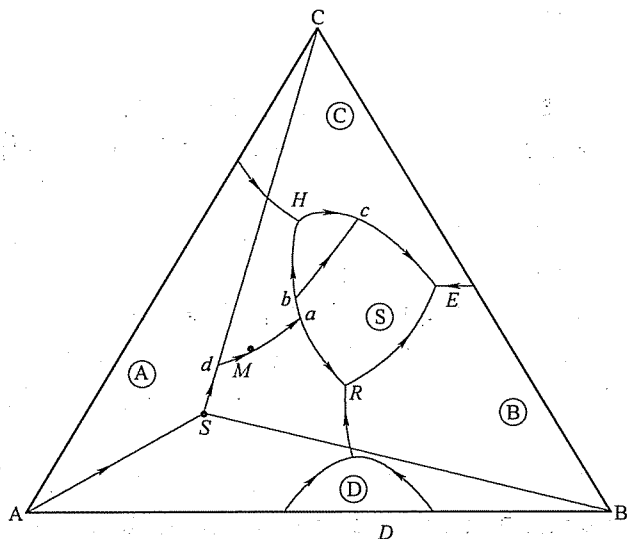


图 15-2 第七题解答图

## 西北工业大学

### 试 卷 十 六

#### 2007 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目: 材料科学基础

适用专业: 材料科学与工程

##### 一、(每小题 10 分, 共 50 分) 简答题

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

##### 二、(每小题 15 分, 共 60 分) 作图计算题

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

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

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

##### 三、(共 40 分) 综合分析题

1. (24 分) 如图 16-1 所示, 请分析:

(1) 两水平线的反应类型, 并写出反应式。

(2) 分析  $Ab$ 、 $bg'$ 、 $g'd'$ 、 $d'$ 、 $d'h'$ 、 $h'e$ 、 $eB$  七个区域室温下的组织组成物

(j 点成分小于 g 点成分)。

(3) 分析 I、II 合金的平衡冷却过程, 并注明主要的相变反应。

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

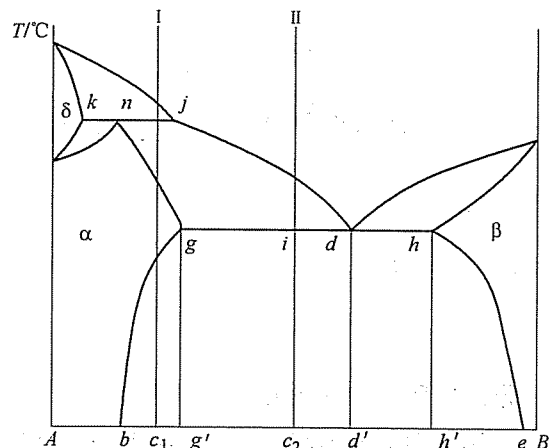


图 16-1 第三题第 1 小题图

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

## 标准答案

一、

1. 全位错: 柏氏矢量等于点阵矢量的整数倍。

不全位错: 柏氏矢量不等于点阵矢量的整数倍。

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

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

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

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

5. 根据变形温度与再结晶温度的高低关系来区分。高于再结晶温度的为热

变形, 反之为冷变形。

二、

1.

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

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

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

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

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

3. 几何条件:

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

能量条件:

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

满足几何条件和能量条件, 反应可以进行。

4. 如图 16-2 所示。

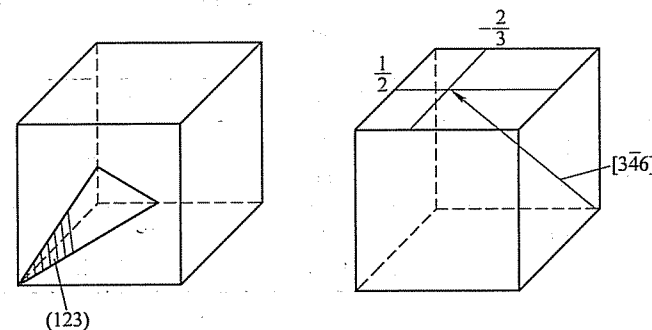


图 16-2 第二题第 4 小题解答图

三、

1.

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

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

(2)  $Ab: \alpha$

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

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

$d': (\alpha + \beta)_{共}$

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

$$eB: \beta$$

(3) 分析略。如图 16-3 所示。

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

合金 II 组织组成:

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

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

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

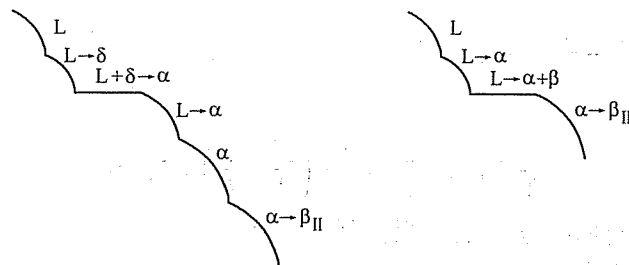


图 16-3 第三题第 1 小题解答图

2.

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

## 试 卷 十 七

### 2008 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目: 材料科学基础

适用专业: 材料科学与工程

一、(每小题 10 分, 共 60 分) 简答题

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

二、(每小题 15 分, 共 60 分) 作图计算题

1. 请分别写出 FCC、BCC 和 HCP 晶体的密排面、密排方向, 并计算密排面间距和密排方向上原子间距。
2. 请绘出面心立方点阵晶胞, 并在晶胞中绘出 (110) 晶面; 再以 (110) 晶面平行于纸面, 绘出 (110) 晶面原子剖面图, 并在其上标出 [001]、[112]、[111] 晶向。
3. 已知 H70 黄铜在 400℃ 时完成再结晶需要 1h, 而在 390℃ 下完成再结晶需 2h, 请计算在 420℃ 下完成再结晶需要多长时间。
4. 一个 FCC 晶体在 [123] 方向在 2MPa 正应力下屈服, 已测得开动的滑移系是 (111) [101], 请确定使该滑移系开动的分切应力  $\tau$ 。

三、(共 30 分) 综合分析题

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



况 (绘制在答题纸上)。

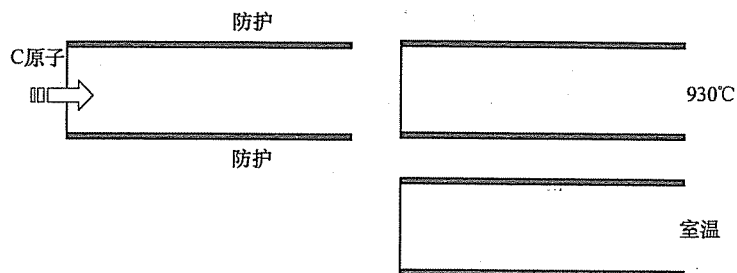
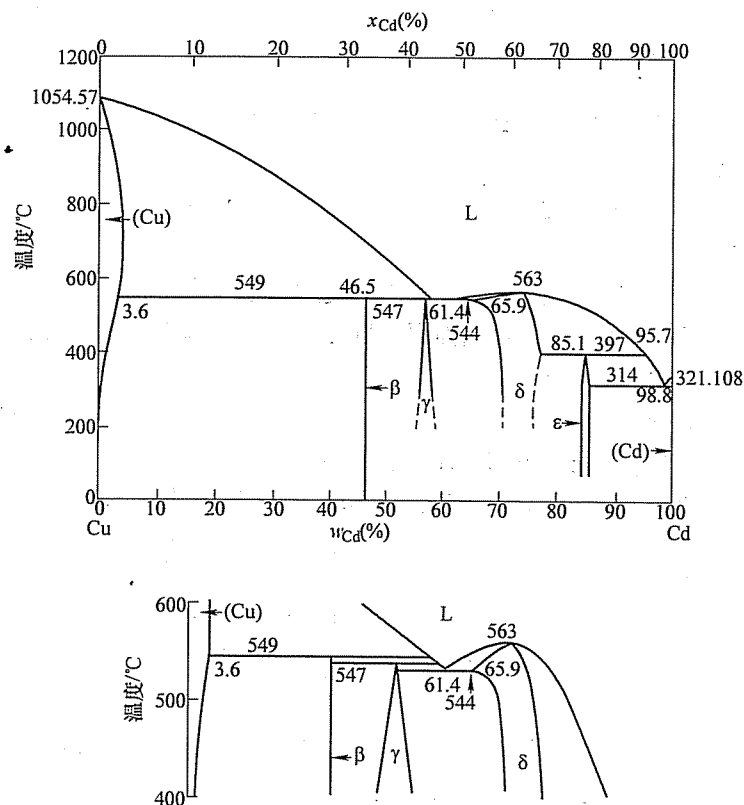


图 17-1 第三题第 1 小题图

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

(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。



Cu-Cd 二元相图的局部放大

图 17-2 第三题第 2 小题图

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

## 标准答案

### 一、

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

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

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

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

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

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

### 二、

#### 1.

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

2. 如图 17-3 所示。

3. 在两个不同的恒定温度产生相同程度的再结晶时

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

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

两边取对数, 并比之得

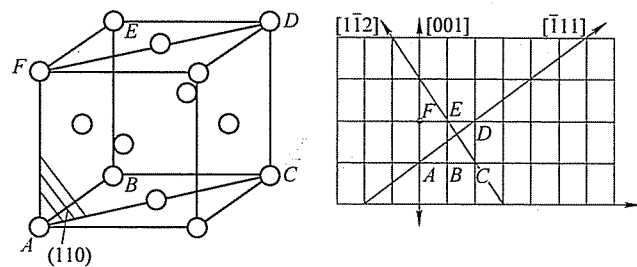


图 17-3 第二题第 2 小题解答图

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

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

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

4.

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

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

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

三、

1.

(1)  $L \rightarrow L \rightarrow \gamma \rightarrow \gamma \rightarrow \gamma \rightarrow \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}} \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C} \rightarrow \alpha \rightarrow \text{Fe}_3\text{C}_{\text{III}}$

相组成:  $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ ; 组织组成:  $P + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$  (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;  $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$  的析出将受到抑制, 甚至不析出。

(3) 如图 17-4 所示。

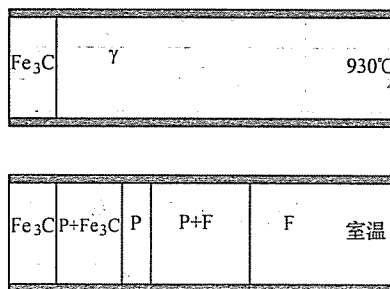


图 17-4 第三题第 1 小题解答图

2.

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

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

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

397°C: 包晶反应,  $\delta + L \rightarrow \varepsilon$

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

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

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

## 试 卷 十 八

## 2009 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料科学与工程

## 一、(每小题 10 分, 共 60 分) 简答题

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

位错类型	$b$ 与 $l$	$\tau$ 与 $b$	$\tau$ 与 $l$	位错线运动方向
刃位错				
螺位错				
混合位错				

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

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

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

5. 何为固溶强化? 请简述其强化机制。

6. 请比较二元共晶转变与包晶转变的异同。

## 二、(每小题 10 分, 共 40 分) 作图计算题

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

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

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

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

## 三、(每小题 25 分, 共 50 分) 综合分析题

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

2. 图 18-1 为 Ti-Al 二元合金相图。

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

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

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

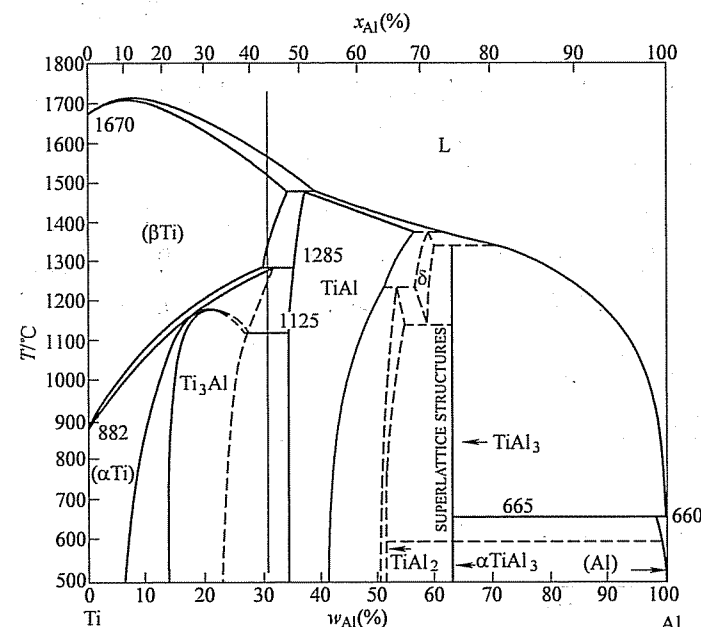


图 18-1 第三题第 2 小题图

## 标准答案

一、  
1.

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

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

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

不会发生。因为间隙扩散中考虑间隙原子定向流动, 未考虑置换互溶式扩散。

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

因此随着弯曲的进行, 铁板发生加工硬化, 继续变形, 导致铁板断裂。

Sn 板属于热加工, 产生动态再结晶, 弯曲可长时间弯折。

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

6. 相同点: 恒温、恒成分转变; 相图上均为水平线。

不同点: 共晶为分解型反应, 包晶为合成型反应; 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、

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

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

故:  $b_1$  的畸变能较小。

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

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

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

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

三、

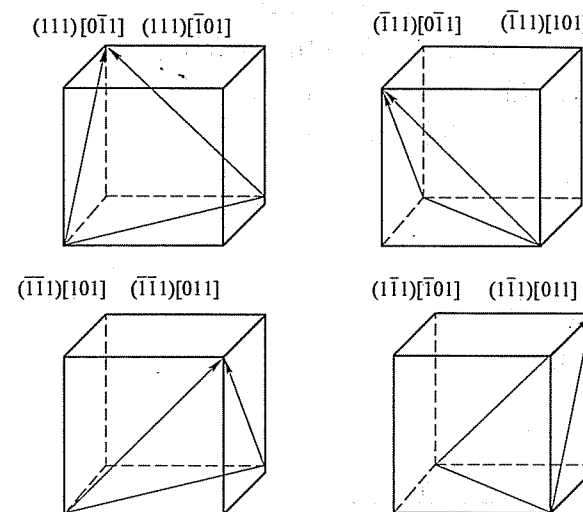


图 18-2 第二题第 2 小题解答图

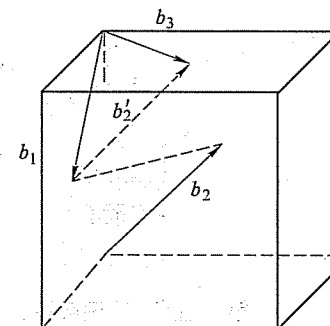


图 18-3 第二题第 3 小题解答图

1.

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

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

(2) 如图 18-4 所示。

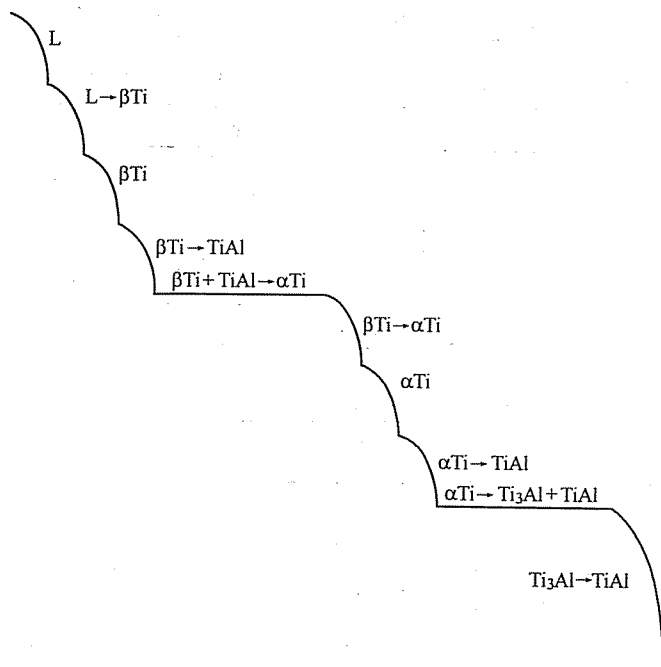


图 18-4 第三题第 2 小题解答图

(3) 相组成:  $\text{Ti}_3\text{Al}$ 、 $\text{TiAl}$ 。

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

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

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

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

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

## 西安工业大学

### 试 卷 十 九

#### 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: 材料加工工程, 材料物理与化学, 材料学

一、(每小题 2 分, 共 10 分) 名词解释

1. 金属键 2. 间隙固溶体 3. 非稳态扩散 4. 相律 5. 定向凝固

二、(每小题 4 分, 共 20 分) 是非判断并改错

1. 在密排六方晶体中,  $(110)$ 、 $(\bar{1}\bar{1}0)$ 、 $(10\bar{1})$ 、 $(\bar{1}01)$ 、 $(011)$  和  $(0\bar{1}\bar{1})$  都是属于同一个晶面族。

2. 中间相只是包括那些位于相图中间且可以用一个分子式表示的化合物相。

3. 低碳钢渗碳处理时, 一般都在 950℃ 的高温下进行, 这是因为此时碳原子的活动能力强, 有利于扩散的快速进行。

4. 多条刃型位错线堆积在一起就形成了一条滑移线。

5. 采用适当的再结晶退火, 可以细化金属铸件的晶粒大小。

三、(每小题 15 分, 共 30 分) 完成下列各题

1. 设在简单立方晶体中有一个位于滑移面  $ABCD$  上的位错环  $abcd$ , 其柏氏矢量  $b$ 、所受切应力  $\tau$  如图 19-1 所示, 回答下列问题:

(1) 指出位错环  $abcd$  中各段位错线的类型。

(2) 画出位错环  $abcd$  移出晶体后晶体所产生的滑移量及所产生变形的方向。

2. 有一铝单晶体的试样表面为  $(100)$ , 如该晶体的各个滑移系都可以进行滑移, 则在试样表面可能看到的滑移线形貌 (即滑移线的取向和它们之间的夹角) 是什么?

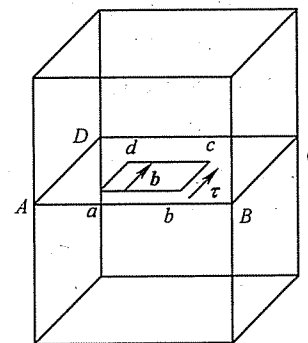


图 19-1 第三题第 1 小题图

## 四、(共 20 分) 计算题

已知铜原子的原子半径为  $0.25\text{nm}$ ，画出铜晶体的一个晶胞，并完成下列工作：

1. 计算  $(001)$ 、 $(110)$ 、 $(111)$  各个晶面中每单位面积 ( $1\text{mm}^2$ ) 的原子数分别有多少个，并作以比较。

2. 在图上画出发生滑移的一个晶面以及这个晶面上发生滑移的晶向。

## 五、(每小题 10 分，共 40 分) 完成下列各题

1. 画出  $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$  的平衡相图，并填写相区。

2. 具体说明相图中有几个单相区、几个两相区和几个三相平衡反应。

3. 说明相图中各水平线的相变过程、相变产物及反应条件。

4. 说明  $w_c = 0.40\%$  的铁-碳合金从液态平衡冷却到室温时的相变过程和最终平衡组织，并计算其中各个相的相对含量。

## 六、(每小题 15 分，共 30 分) 完成下列各题

1. 有一个铝单晶体试样，在拉伸前的滑移方向与拉伸轴的夹角为  $45^\circ$ ，拉伸后的滑移方向与拉伸轴的夹角为  $30^\circ$ ，试求铝单晶体试样拉伸后所产生的延伸率为多少。

2. 三元合金相图中的垂直截面与二元合金相图有何不同？为什么二元合金相图可以使用杠杆定律来分析各个相的相对含量，而三元合金相图中的垂直截面却不能？

## 标准答案

## 一、

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

2. 间隙固溶体：若溶质原子比较小，就可以进入溶剂晶格的间隙位置之中而不改变溶剂的晶格类型，这样形成的固溶体称为间隙固溶体。

3. 非稳态扩散：在扩散过程中任何一点的浓度都随时间不同而变化的扩散称为非稳态扩散。

4. 相律：在平衡系统中由于受平衡条件的制约，系统内存在的相数有一定限制。这种限制使系统的自由度  $f$  和组元数目  $c$ 、相的数目  $p$  以及对系统平衡状态能够产生影响的外界因素数目  $n$  之间存在一定的关系，这种关系就称之为相律，即  $f = c - p + n$ 。

5. 定向凝固：在凝固过程中，铸件中各个组织全部沿同一方向生长，由此产

生由取向相同的柱状、层片状及棒状所构成的单相或多相纤维状组织，这种凝固技术称为定向凝固。

## 二、

1. 错。在密排六方晶体中若用三指数表示法，则  $(110)$ 、 $(\bar{1}\bar{1}0)$ 、 $(\bar{1}01)$ 、 $(101)$ 、 $(011)$  和  $(0\bar{1}\bar{1})$  所表示的分别是其柱面和锥面，它们不属于同一个晶面族。

2. 错。凡是位于相图中间的各种合金相结构都统称为中间相，这其中当然包括一个分子式表示的化合物相以及一些固溶体相。

3. 错。主要原因是在  $950^\circ\text{C}$  的高温下低碳钢的组织为奥氏体，碳在奥氏体的溶解度可以达到最大值。

4. 错。只有当约 1000 条位错线移出晶体表面，才会在晶体表面形成一条滑移线。

5. 错。只有经过一定量塑性变形的金属材料，采用适当的再结晶退火，才能达到细化晶粒大小的目的。金属铸件一般不能经受一定量的塑性变形，所以不能细化其晶粒大小。

## 三、

## 1.

(1) 位错线  $ab$  和位错线  $cd$  的方向矢量都和其柏氏矢量  $b$  垂直，故它们属于刃型位错；而位错线  $bc$  和位错线  $da$  的方向矢量都和其柏氏矢量  $b$  平行，故它们属于螺型位错。

(2) 位错环  $abcd$  全部移出晶体后，晶体会产生宽度为一个柏氏矢量的滑移量，所产生变形的方向与切应力  $\tau$  的方向一致，如图 19-2 所示。

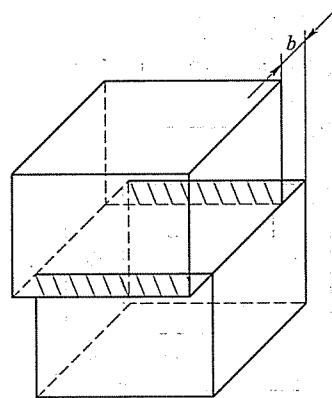


图 19-2 第三题第 1 小题解答图

2. 铝是面心立方晶体，它的滑移系是  $\{111\} \langle 110 \rangle$ ，共有 12 个具体的滑移系。现在，铝单晶体试样表面为  $(100)$ 。当发生塑性变形时，晶体表面所产生

的滑移线应该是既位于各个  $\{111\}$  面上, 又位于  $(100)$  面上, 即位于  $(111)$ 、 $(\bar{1}11)$ 、 $(1\bar{1}1)$ 、 $(11\bar{1})$  四个滑移面与  $(100)$  面的交线上, 应该是  $[01\bar{1}]$  和  $[011]$ , 而这两个方向又互相垂直, 同向的滑移线又互相平行。因此, 可以看到的这些滑移线在  $(100)$  面呈现互相平行或者互相垂直的组态。

#### 四、

铜是面心立方晶体, 其单位晶胞如图 19-3 所示。

1. 现已知铜原子的原子半径为  $0.25\text{nm}$ , 根据面心立方晶体中原子半径与晶格常数之间的关系, 可以求得铜晶体的晶格常数  $a$  为

$$a_{\text{Cu}} = \frac{4r}{\sqrt{2}} = \frac{4 \times 0.25\text{nm}}{1.414} = 0.71\text{nm}$$

面心立方晶体中  $(001)$  面的原子密度

$$\rho_{001} = \frac{2}{a^2} = \frac{2}{(0.71 \times 10^{-6}\text{mm})^2} = 4 \times 10^{12} \text{个}/\text{mm}^2$$

面心立方晶体中  $(110)$  面的原子密度

$$\rho_{110} = \frac{2}{\sqrt{2}a^2} = \frac{2}{1.414 (0.71 \times 10^{-6}\text{mm})^2} = 2.83 \times 10^{12} \text{个}/\text{mm}^2$$

面心立方晶体中  $(111)$  面的原子密度

$$\rho_{111} = \frac{\frac{4}{3}\sqrt{3}}{a^2} = \frac{4\sqrt{3}}{3 \times (0.71 \times 10^{-6}\text{mm})^2} = 4.61 \times 10^{12} \text{个}/\text{mm}^2$$

可见, 这三个晶面中  $(111)$  面的原子密度为最高,  $(001)$  面次之,  $(110)$  面的原子密度为最低。

2. 面心立方晶体发生滑移的一个晶面  $(111)$  以及这个晶面上发生滑移的三个晶向  $[01\bar{1}]$ 、 $[\bar{1}10]$ 、 $[10\bar{1}]$  如图 19-3 中所注。

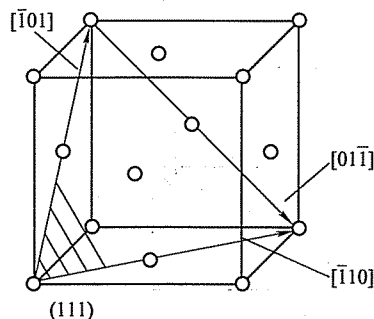


图 19-3 第四题解答图

#### 五、

1. 所画出  $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$  的平衡相图, 如图 19-4 所示。各个相区的填写, 如图 19-

4 中所注。

2.  $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$  的平衡相图中有 5 个单相区, 即液相区、高温铁素体区、铁素体区 F、奥氏体区 A 和渗碳体区。

$\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$  的平衡相图中有 7 个两相区, 即  $(L+\delta)$ 、 $(L+A)$ 、 $(A+\delta)$ 、 $(A+F)$ 、 $(L+\text{Fe}_3\text{C})$ 、 $(F+\text{Fe}_3\text{C})$ 、 $(A+\text{Fe}_3\text{C})$ 。

$\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$  的平衡相图中有 3 个三相平衡反应。

3. 包晶转变  $L+\delta \rightarrow A$ , 反应产物是奥氏体。发生在  $1495^\circ\text{C}$ , 三相的成分  $w_c$  分别为  $0.53\%$ 、 $0.09\%$  和  $0.17\%$

共晶转变  $L \rightarrow A + \text{Fe}_3\text{C}$ , 反应产物是莱氏体。发生在  $1148^\circ\text{C}$ , 三相的成分  $w_c$  分别为  $4.30\%$ 、 $2.11\%$  和  $6.69\%$

共析转变  $A \rightarrow F + \text{Fe}_3\text{C}$ , 反应产物是珠光体。发生在  $727^\circ\text{C}$ , 三相的成分  $w_c$  分别为  $0.77\%$ 、 $0.0218\%$  和  $6.69\%$

4. 在  $1495^\circ\text{C}$  以上, 液相中析出高温铁素体  $\delta$ 。

在  $1495^\circ\text{C}$  时, 发生包晶转变  $L+\delta \rightarrow A$ , 反应产物是奥氏体。

在  $1495 \sim 800^\circ\text{C}$  之间, 奥氏体冷却。

在  $800 \sim 727^\circ\text{C}$  之间, 奥氏体中析出铁素体 F。

在  $727^\circ\text{C}$  时, 发生共析转变  $A \rightarrow F + \text{Fe}_3\text{C}$ , 反应产物是珠光体。

在  $727^\circ\text{C}$  以下, 从铁素体 F 中析出三次渗碳体。

室温时,  $w_c = 0.40\%$  的铁-碳合金的最终平衡组织是先共析铁素体 + 珠光体 + 三次渗碳体, 平衡相为铁素体 + 渗碳体, 其相对含量分别为

$$w_F = \frac{6.69 - 0.4}{6.69} \times 100\% = \frac{6.29}{6.69} \times 100\% \approx 94\%$$

$$w_{\text{Fe}_3\text{C}} = 1 - 94\% = 6\%$$

#### 六、

1. 铝单晶体试样拉伸前、后的示意图如图 19-5 所示。图中  $AC$  和  $A'C'$  分别表示试样拉伸前、后晶体中两个相邻滑移面之间的距离, 即滑移面的面间距。

显然, 试样拉伸前、后晶体中两个相邻滑移面之间的面间距是不会改变的, 即  $AC$  和  $A'C'$  相等。于是, 铝单晶体试样拉伸后所产生的延伸率应为:

$$\delta = \frac{A'B' - AB}{AB} = \frac{\frac{A'C'}{\sin 30^\circ} - \frac{AC}{\sin 45^\circ}}{\frac{AC}{\sin 45^\circ}} = \frac{2 - \sqrt{2}}{\sqrt{2}} = \frac{0.586}{1.414} = 0.414 = 41.4\%$$

2. 三元合金相图中垂直截面的两端并不是纯组元, 而是一端纯组元、另一端二元合金, 甚至两端都是二元合金。另外, 在二元合金相图中纯组元的相变点只有一个, 而在三元合金相图的垂直截面中, 其两端往往是开口的, 即有两个相变点。因此, 它与二元合金相图不同, 是一个伪二元合金相图。

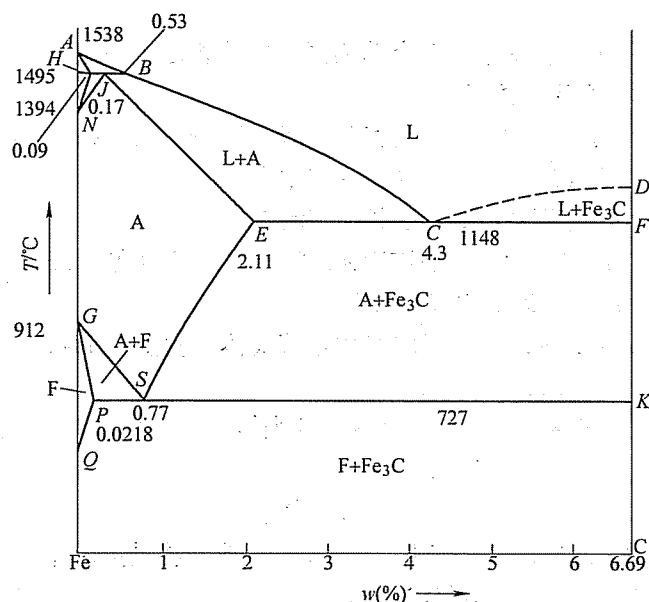


图 19-4 第五题解答图

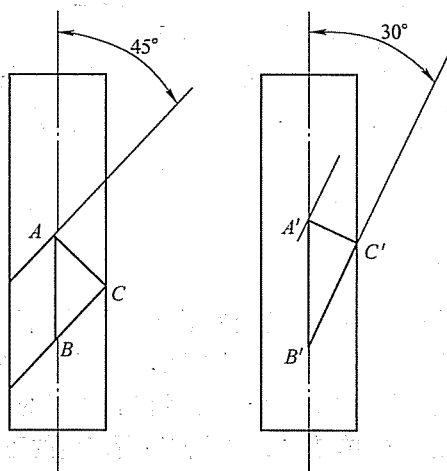


图 19-5 第六题第 1 小题解答图

杠杆定律表示在一定的温度下，合金两个相的相对含量与合金成分点到两个相区线的距离成反比。杠杆定律的应用必须保证自由度为零的条件。在三元合金相图中的垂直截面中，即使温度一定，此时的自由度  $f = c - p = 3 - 2 = 1$ ，也不满足自由度为零的条件。因此，在三元合金相图中的垂直截面中，不能使用杠杆定律来分析各个相的相对含量。

## 试 卷 二 十

### 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：材料加工工程，材料物理与化学，材料学

#### 一、(每小题 2 分，共 20 分) 名词解释

1. 配位数
2. 伪共晶
3. 成分过冷
4. 固溶体
5. 稳态扩散
6. 位错
7. 回复
8. 滑移
9. 非均匀形核
10. 平衡分配系数

#### 二、(每小题 10 分，共 30 分) 完成下列各题

1. 试用位错理论解释低碳钢的应变时效现象。
2. 说明合金强化的主要机制。
3. 说明冷变形金属加热时回复、再结晶及晶粒长大的过程 and 特点。

#### 三、(每小题 15 分，共 60 分) 计算题

1. 已知纯铜的熔化潜热为  $1.88 \times 10^9 \text{ J/m}^3$ ，熔点为  $1089^\circ\text{C}$ ，点阵常数为  $3.4167 \text{ \AA}$ ，发生均匀形核的过冷度为  $230 \text{ K}$ ， $\sigma_{\text{SL}} = 1.44 \times 10^{-1} \text{ J/m}^2$ 。求铜的临界晶核半径  $r^*$  及临界晶核中所含的铜原子数。
2. 拉伸铜单晶体时，若力轴的方向为  $[001]$ ， $\sigma = 10^6 \text{ Pa}$ ，求  $(111)$  面上柏氏矢量  $b = a/2 [101]$  的螺型位错线上所受的力 ( $a_{\text{Cu}} = 0.36 \text{ nm}$ )。
3. 画出常见的金属晶体结构面心立方、体心立方和密排六方的晶胞示意图，并分别计算它们的晶胞原子数、原子半径 (用晶格常数表示)、配位数和致密度。
4. Al-Cu 合金相图如图 20-1 所示，设分配系数  $k$  和液相线斜率均为常数，测得铸铁的凝固速度  $R = 3 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ ，温度梯度  $G = 30^\circ\text{C/cm}$ ，求扩散系数  $D = 3 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$  时，合金凝固时能保持平面界面的最大含铜量。

#### 四、(每小题 10 分，共 30 分) 完成下列各题

1. 画出 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图全图，标注各相区及特征点、线的成分及温度。
2. 分析  $w_c = 3.6\%$  合金的平衡结晶过程，求出室温下的组织组成物和相组成物的相对量。
3. 将  $w_c = 0.2\%$  的碳钢零件置于含  $1.2\%$  碳势的渗碳气氛中加热至  $930^\circ\text{C}$ ，经  $10 \text{ h}$  保温后随炉冷却至室温，试分析在  $930^\circ\text{C}$  和室温时零件从表层到心部成分和组织的变化规律，并画出示意图。



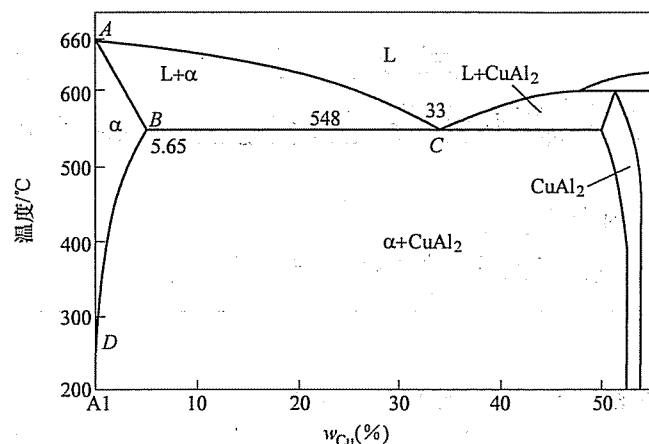


图 20-1 第三题第 4 小题图

五、(共 10 分) A、B、C 三组元固态完全不互溶, 图 20-2 为其三元相图投影图。已知合金 O 的成分为  $w_A = 80\%$ ,  $w_B = 10\%$ ,  $w_C = 10\%$ , a 点的成分为  $w_A = 60\%$ ,  $w_B = 20\%$ ,  $w_C = 20\%$ , E 点的成分为  $w_A = 50\%$ ,  $w_B = 10\%$ ,  $w_C = 40\%$ 。

1. (4 分) 写出图中合金 I 和 P 的室温平衡组织。
2. (3 分) 简要写出合金 O 的结晶过程和室温平衡组织。
3. (3 分) 计算室温下合金 O 的组织组成物的相对含量。

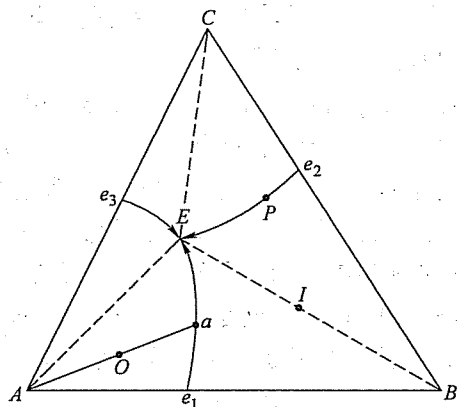


图 20-2 第五题图

## 标准答案

一、

1. 配位数: 在晶体结构中, 和任意原子邻近且距离相等的原子数。
2. 伪共晶: 由非共晶成分的合金所获得的共晶组织称为伪共晶。
3. 成分过冷: 合金溶液在凝固时, 理论凝固温度不变, 过冷度完全取决于溶质成分的分布, 这样的过冷称为成分过冷。
4. 固溶体: 溶质原子溶入到溶剂中所形成的均一的相, 其晶体结构仍然保持溶剂的结构, 但由于溶质原子的溶入, 会产生晶格畸变。
5. 稳态扩散: 质量浓度不随时间而变化的扩散。
6. 位错: 晶体中的一维缺陷或线状缺陷, 称为位错。
7. 回复: 回复是指经冷塑性变形的金属在加热时, 在光学显微组织发生改变前 (即在再结晶晶粒形成前) 所产生的某些结构和性能的变化过程。
8. 滑移: 位错线沿着滑移面的运动称为位错的滑移。
9. 非均匀形核: 晶核在液态金属中依靠外来物质表面 (型壁或杂质) 或在温度不均匀处择优形成。
10. 平衡分配系数: 一定温度下, 两相平衡时固液两相成分之比, 即  $k_0 = C_s/C_L$ 。

二、

1. 将退火低碳钢进行少量的塑性变形后卸载, 然后立即加载, 屈服现象不再出现。但是如果卸载后, 将试样在室温下放置较长时间或者稍微加热后, 再进行拉伸就又可以观察到屈服现象, 不过此时的屈服强度会有所提高, 这种现象称为应变时效。

低碳钢的应变时效可以用溶质原子与位错交互作用的柯垂尔 (Cottrell) 气团理论作出很好的解释。一般认为, 在固溶体中, 溶质或杂质原子在晶体中造成点阵畸变, 溶质原子的应力场和位错应力场会发生交互作用, 作用的结果是溶质原子将聚集在位错线附近, 形成能量更低的溶质原子气团, 即所谓的柯垂尔气团。

将低碳钢试样拉伸产生少量预塑性变形, 此时试样在外加应力的作用下使位错摆脱碳原子的钉扎, 表现为屈服。若卸载后马上重新加载, 短时间内碳原子来不及重新聚集在位错周围, 所以继续加载时不会出现屈服现象; 当卸载后经历较长时间或短时加热后, 碳原子又会通过扩散重新聚集到位错线附近而形成气团, 所以继续进行拉伸时, 又会出现屈服现象, 并使强度和硬度升高, 这就是应变时效产生的原因。

2.

(1) 细晶强化: 通过增加晶粒数目, 提高晶界对移动位错的阻碍作用, 从而达到强化的效果。

(2) 固溶强化: 即将溶质原子溶入基体金属中, 使基体金属产生点阵畸变, 从而抑制位错源的活动以提高基体金属的强度。

(3) 形变强化: 即当晶体经过形变之后, 使晶体内部的位错发生塞积或缠结, 难以运动, 从而达到强化基体的目的。

(4) 第二相强化: 即通过第二相粒子均匀弥散分布在基体上, 阻止位错的运动或增加位错运动的阻力, 提高合金的强度。

### 3.

#### (1) 回复过程

1) 组织不发生变化, 仍保持变形伸长的晶粒形态。

2) 变形引起的宏观 (一类) 应力全部消除, 微观 (二类) 应力大部分消除。

3) 一般力学性能变化不大, 硬度、强度仅稍有降低, 塑性稍有提高; 某些物理性能有较大变化, 电阻率显著降低, 密度增大。

#### (2) 再结晶过程

1) 组织发生变化, 变形伸长的晶粒变为新的等轴晶粒。

2) 力学性能发生急剧变化, 硬度、强度急剧降低, 塑性提高, 恢复至变形前的状态。

3) 变形储存能全部释放, 点阵畸变 (三类应力) 全部消除, 位错密度降低。

#### (3) 晶粒长大过程

1) 晶粒长大。

2) 性能变化, 如强度、塑性、韧性下降。

3) 还可能出现再结晶组织等现象。

### 三、

#### 1. 临界晶核半径

$$r^* = \frac{2\sigma \cdot T_m}{L_m \cdot \Delta T} = \frac{2 \times 1.44 \times 10^{-1} \times (1089 + 273)}{1.88 \times 10^9 \times 230} \text{ m} = 9.07 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$\text{临界晶核体积 } V_1 = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi (9.07 \times 10^{-10})^3 \text{ m}^3$$

铜为面心立方结构, 每个晶胞含有 4 个铜原子。晶胞体积

$$V_2 = a^3 = (3.4167 \times 10^{-10})^3 \text{ m}^3$$

$$\text{故临界晶核中所含的铜原子数 } n = \frac{V_1}{V_2} \times 4 = 313 \text{ 个}$$

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

$$\tau = \sigma \cos \phi \cos \lambda$$

式中,  $\phi$  为  $[001]$  与  $[111]$  的夹角,  $\lambda$  为  $[001]$  与  $[\bar{1}01]$  的夹角。

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

若螺型位错受力为  $F_d$ , 则

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

3. 面心立方、体心立方和密排六方的晶胞示意图如图 20-3 所示。计算得它们的晶胞原子数、原子半径 (用晶格常数表示)、配位数和致密度列于表 20-1。

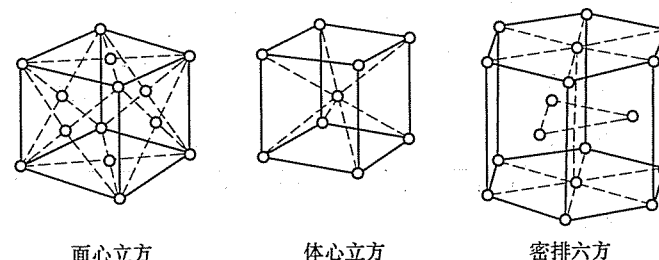


图 20-3 第三题第 3 小题解答图

表 20-1 第三题第 3 小题解答表

	FCC	BCC	HCP
晶胞原子数	4	2	6
原子半径	$R = \frac{\sqrt{2}}{4}a$	$R = \frac{\sqrt{3}}{4}a$	$R = \frac{a}{2}$
配位数	12	8	12
致密度	0.74	0.68	0.74

4. 成分无过冷的临界点公式:  $\frac{G}{R} = \frac{mC_0}{D} \cdot \frac{1-k_0}{k_0}$

$$k_0 = \frac{C_s}{C_L} = \frac{5.65}{33.2} = 0.17 \quad m = \frac{660 - 548}{33} = 3.4$$

$$C_0 = \frac{G}{R} \cdot \frac{D}{m} \cdot \frac{k_0}{1-k_0} = \frac{30 \times 3 \times 10^{-5} \times 0.17}{3 \times 10^{-4} \times 3.4 \times (1-0.17)} = 18\%$$

### 四、

1. Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图如图 20-4 所示。

2. 结晶过程: 液相在 1 点开始析出奥氏体, 到 2 点, 液相开始共晶转变, 产物为莱氏体。继续冷却, 奥氏体开始析出二次渗碳体, 温度降到 727°, 奥氏体转变为珠光体, 室温组织组成物为: 珠光体 + 二次渗碳体 + 莱氏体。

$$\text{组织组成物相对量计算: } w_A = \frac{4.3 - 3.6}{4.3 - 2.11} = 32\%$$

$$w_{L'd} = 1 - w_A = 68\%$$

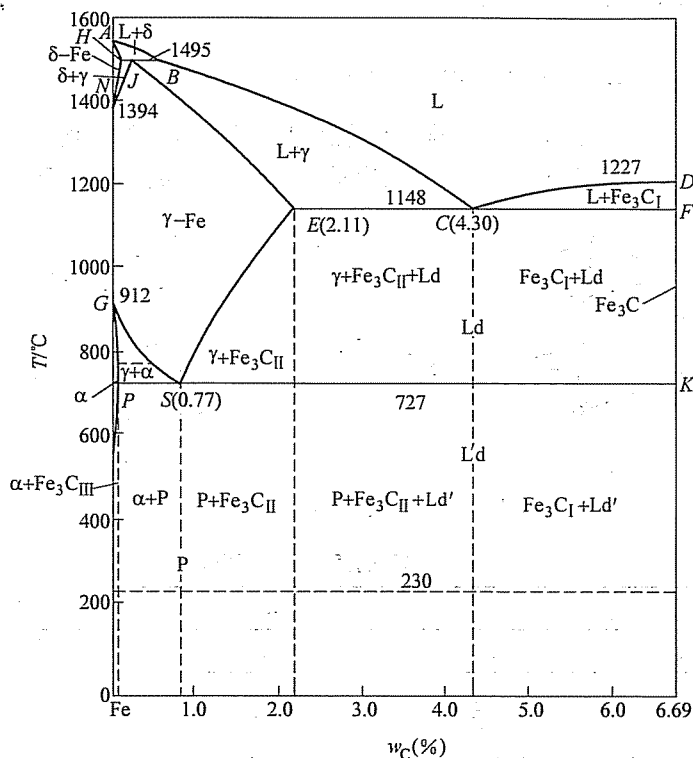


图 20-4 第四题第 1 小题解答图

$$w_{\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}} = w_A \times \frac{2.11 - 0.77}{6.69 - 0.77} = 7.2\%$$

$$w_P = 1 - w_{\text{Ld}} - w_{\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}} = 24.8\%$$

$$\text{相组成物相对量计算: } w_F = \frac{6.69 - 3.6}{6.69} \times 100\% = 46\%$$

$$w_{\text{Fe}_3\text{C}} = 1 - w_F = 54\%$$

3. 如图 20-5 所示。

五、

1.  $I: B + (A + B + C)$

$P: (B + C) + (A + B + C)$

2. 合金 O 加热到液相面温度以上后, 缓慢降温, 首先遇到液相面  $Ae_1Ee_3A$ , 开始结晶出初晶 A, 这时液相的成分等于合金成分, 两相平衡相连接线的投影是 AO 线。继续冷却时, 不断析出初晶 A, 液相中 A 组元的含量不断减少, B、C 组元的含量不断增加, 液相成分沿 AO 的延长线变化。当液相成分到达 a 点时, 开始发生三相共晶转变,  $L \rightarrow A + B$ 。此后在温度继续下降时, 液相中不断凝固出两

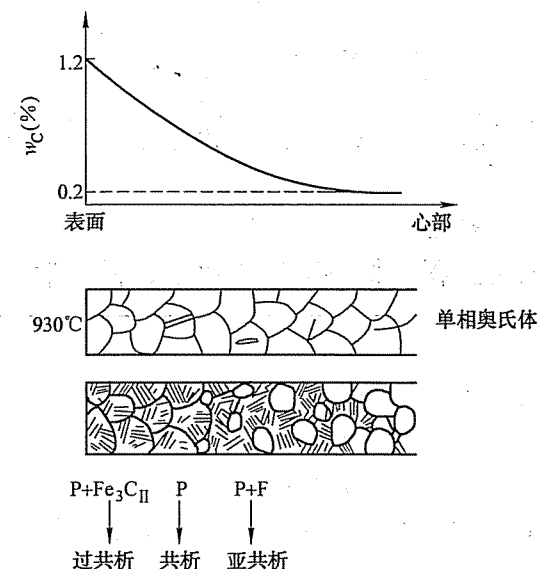


图 20-5 第四题第 3 小题解答图

相共晶 ( $A + B$ ); 液相成分沿  $aE$  线变化, 直到 E 点发生四相共晶转变  $L \rightarrow A + B + C$ 。在略低于 E 点温度凝固完毕, 不再发生其他转变。故合金在室温下的平衡组织为  $A + (A + B) + (A + B + C)$ 。

3. 作  $aD // BC$ ,  $OF // BC$ ,  $aM // AB$ ,  $EN // AB$ , 延长  $Ea$  交  $AB$  于  $q$ 。

$$w_A = \frac{Oa}{Aa} = \frac{DF}{AD} = \frac{(100 - 60) - (100 - 80)}{100 - 60} \times 100\% = 50\%$$

$$w_{A+B} = \frac{Ea}{Eq} (1 - w_A) = 0.5 \times \frac{MN}{AN} \times 100\% = 0.5 \times \frac{40 - 20}{40} \times 100\% = 25\%$$

$$w_{A+B+C} = 1 - w_A - w_{A+B} = 25\%$$

## 试 卷 二 十 一

## 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：材料加工工程，材料物理与化学，材料学

## 一、(每小题 2 分, 共 10 分) 名词解释

1. 晶带轴定律
2. 非均匀形核
3. 柯氏气团
4. 多系滑移
5. 动态再结晶

二、(每小题 4 分, 共 20 分) 是非判断题 (对的请打“√”, 错的请打“×”, 并予以改正)

1. 置换固溶体和间隙固溶体都有可能形成无限固溶体。
2. 密排六方结构是纯金属的基本晶体结构之一, 也是布拉菲点阵中的一种。
3. 位错线的滑移和攀移都可以使金属晶体在滑移面产生塑性变形。
4. 高温莱氏体和室温莱氏体都是铸铁中主要组成相, 且其组织形貌完全相同。
5. 形变织构是金属材料塑性变形过程中产生的, 它对金属材料有着明显的强化作用。

## 三、(20 分) 计算题

一个简单立方晶系的双晶, 它们的滑移系原为  $\{100\} \langle 100 \rangle$ , 双晶的取向及力轴的取向如图 21-1 所示 (提示: 晶界两侧的取向不同), 试确定哪一个晶体首先开始滑移, 所开动的具体滑移系是什么。

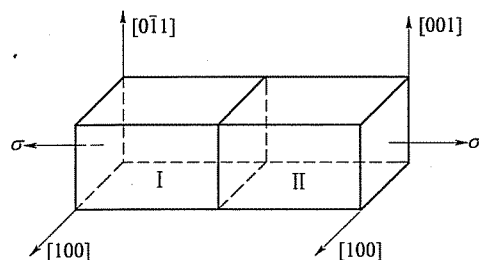


图 21-1 第三题图

## 四、(共 30 分) 完成下列各题

设一长为 200mm、横截面积为  $400\text{mm}^2$  的金属棒, 上端固定, 下端加以一个与长度方向平行且指向下方、大小为 98kN 的力, 如图 21-2 所示。

1. (20 分) 试求出与力轴方向分别成  $0^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$  以及  $\theta$  的各截面上的正应力和切应力。

2. (10 分) 画出切应力与  $\theta$  的关系曲线, 并求出切应力为最大时的  $\theta$  为多少。

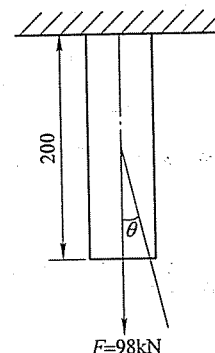


图 21-2 第四题图

## 五、(每小题 10 分, 共 40 分) 完成下列各题

1. 画出 Fe-Fe<sub>3</sub>C 的平衡相图, 并填写相区。
2. 说明相图中各水平线上下的相区分布, 并用相区接触法则予以解释。
3. 计算  $w_c = 0.20\%$  的铁-碳合金平衡冷却到室温时的相和组织的相对含量。

4. 若上述合金要进行渗碳处理, 请确定合适的渗碳温度, 并予以解释。

## 六、(每小题 15 分, 共 30 分) 完成下列各题

1. 试分析在具有面心立方结构的金属晶体中, 下列位错反应能否进行, 说明反应前后的位错各属于什么类型。能否在滑移面上运动。

$$\frac{a}{2}[101] + \frac{a}{6}[\bar{1}2\bar{1}] \rightarrow \frac{a}{3}[111]$$

2. 图 21-3 为 V-Cr-C 三元系液相图投影图 (示意图) 的一部分, 请列出所有四相平衡反应的反应式, 并说明属于什么反应。

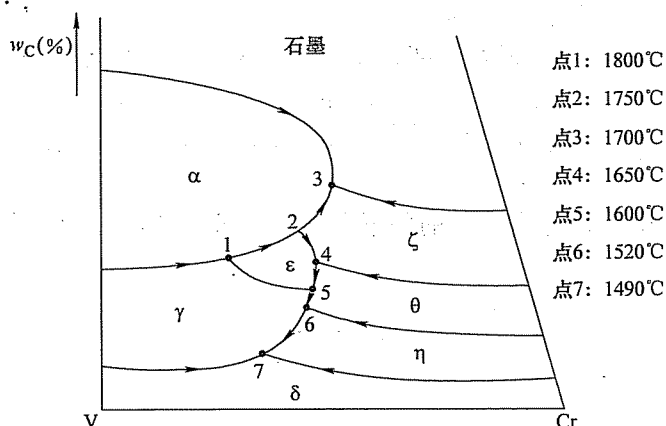


图 21-3 第六题第 2 小题图

## 标准答案

### 一、

1. 晶带轴定律：所有平行于同一方向的晶面 ( $hkl$ ) 构成一个晶带，该方向  $[uvw]$  就称为晶带轴，则有  $hu + kv + lw = 0$ ，这就是晶带轴定律。
2. 非均匀形核：如果金属熔体中存在着高熔点的固相夹杂物，晶胚有可能依附这些固相夹杂物的现成界面形核，这种现象就称为非均匀形核。
3. 柯氏气团：间隙原子与位错线进行弹性交互作用时，间隙原子将在位错线附近聚集，形成小原子集团，称为柯氏气团。
4. 多系滑移：金属晶体在一定方向受力时，可以使多个等同滑移系同时开动，这称为多系滑移。
5. 动态再结晶：金属材料在一定温度下变形加工时，同时也发生再结晶，这种与形变同时发生的再结晶就称为动态再结晶。

### 二、

1. 错。只有置换固溶体才有可能形成无限固溶体，而间隙固溶体只能形成固溶度很小的有限固溶体。
2. 错。密排六方结构是纯金属的基本晶体结构之一，但不是布拉菲点阵中的一种，它属于布拉菲点阵中的简单六方结构。
3. 错。位于滑移面上的位错线在切应力的作用下可以滑移，从而使金属晶体在滑移面产生塑性变形；刃型位错在一定条件下可以沿垂直于滑移面的方向运动，刃型位错的这种运动就称为攀移。刃型位错的攀移将导致多余半原子面的扩

大或缩小，与滑移面产生塑性变形无关。

4. 错。莱氏体不是组成相，而是由几个相组成的组织组成物。高温莱氏体和室温莱氏体的组织形貌是不同的，高温莱氏体由奥氏体和渗碳体组成，而室温莱氏体中没有奥氏体，由铁素体，渗碳体和二次、三次渗碳体组成。

5. 不完全对。形变组织是金属材料塑性变形过程中产生的，但会引起金属材料力学性能和物理性能的明显各向异性，且对金属材料没有明显的强化作用。

三、这是一个双晶体，不是单晶体。左边晶体的取向可由方向  $[100]$  和  $[0\bar{1}1]$  所确定。含有这两个方向的晶面为  $(011)$ ，即施加在左边晶体作用力的方向与  $(011)$  面垂直，其方向为  $[011]$ 。而施加在右边晶体作用力的方向与  $(010)$  面垂直，其方向为  $[010]$ 。

在简单立方晶系中， $(011)$  面和滑移面  $(010)$ 、 $(001)$  以及滑移方向  $[010]$ 、 $[001]$  的夹角均为  $45^\circ$ 。左边晶体作用力  $\sigma$  在滑移系上分力为  $\sigma \sin 45^\circ \cos 45^\circ$ ，而右边晶体作用力  $\sigma$  在滑移系上分力为 0。因此，左边晶体首先开始滑移，所开动的滑移系分别为： $(001)[010]$  和  $(010)[001]$ 。

### 四、

1. 与力轴方向分别成  $0^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$  以及  $\theta$  各截面上的正应力和切应力求解如下：

设试样的原始截面积为  $A_0$ ，与力轴方向分别成  $0^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$  以及  $\theta$  后，试样的截面积分别为  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 、 $A_4$ ，而力  $F$  在这些截面的垂直分量分别为  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 、 $F_4$ ，水平分量分别为  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 、 $P_4$ 。则：

与力轴方向成  $0^\circ$  时

$$\sigma_1 = \frac{F_1}{A_1} = \frac{98\text{kN}}{400\text{mm}^2} = 245\text{N/mm}^2 = 245 \times 10^6\text{N/m}^2 = 245\text{MPa}$$

$$\tau_1 = 0$$

与力轴方向成  $30^\circ$  时

$$\begin{aligned}\sigma_2 &= \frac{F_2}{A_2} = \frac{F \cos 30^\circ}{\frac{A}{\cos 30^\circ}} = \frac{F}{A} \cos^2 30^\circ \\ &= \frac{98\text{kN}}{400\text{mm}^2} \left( \frac{\sqrt{3}}{2} \right)^2 = 183.8\text{MPa} \\ \tau_2 &= \frac{P_2}{A_2} = \frac{F \sin 30^\circ}{\frac{A}{\cos 30^\circ}} = \frac{F}{A} \sin 30^\circ \cos 30^\circ \\ &= \frac{98\text{kN}}{400\text{mm}^2} \frac{1}{2} \frac{\sqrt{3}}{2} = 53.0\text{MPa}\end{aligned}$$

与力轴方向成  $45^\circ$  时

$$\sigma_3 = \frac{F_3}{A_3} = \frac{F}{A} \cos^2 45^\circ = \frac{98 \text{ kN}}{400 \text{ mm}^2} \left( \frac{\sqrt{2}}{2} \right)^2 = 122.5 \text{ MPa}$$

$$\tau_3 = \frac{P_3}{A_3} = \frac{F}{A} \sin 45^\circ \cos 45^\circ = \frac{98 \text{ kN}}{400 \text{ mm}^2} \left( \frac{\sqrt{2}}{2} \right)^2 = 122.5 \text{ MPa}$$

与力轴方向成  $\theta$  角时

$$\sigma_4 = \frac{F_4}{A_4} = \frac{F}{A} \cos^2 \theta = 245 \text{ MPa} \cdot \cos^2 \theta$$

$$\begin{aligned} \tau_4 &= \frac{P_4}{A_4} = \frac{F}{A} \sin \theta \cos \theta = 245 \text{ MPa} \cdot \sin \theta \cos \theta \\ &= \frac{1}{2} \times 245 \sin 2\theta = 122.5 \text{ MPa} \cdot \sin 2\theta \end{aligned}$$

2. 由上面的计算结果可见, 切应力与  $\theta$  角的关系为  $2\theta$  的正弦函数。显然, 当  $\theta$  为  $45^\circ$  时, 切应力达到最大值。根据这个关系式, 很容易作出切应力与  $\theta$  的关系曲线。(关系曲线省略)

#### 五、

1. Fe-Fe<sub>3</sub>C 平衡相图略。该相图由 5 个单相区 (铁素体 F、奥氏体 A、渗碳体 Fe<sub>3</sub>C、液相 L 及高温铁素体)、7 个两相区 (L +  $\delta$ 、L + A、L + Fe<sub>3</sub>C、A +  $\delta$ 、A + F、A + Fe<sub>3</sub>C 和 F + Fe<sub>3</sub>C) 和三个等温反应区 (L +  $\delta$  → A、L → A + Fe<sub>3</sub>C、A → F + Fe<sub>3</sub>C) 组成。

2. Fe-Fe<sub>3</sub>C 的平衡相图中有三条水平线, 分别代表三个三相等温反应区。表面上看, 三条水平线的两侧都是和两相区以线接触的方式相邻, 好像不符合“相邻相区的相数差为 1”的相区接触法则。然而, 三条水平线实际上是三个等温反应区, 是三相区。于是, 这就完全符合相区接触法则了。

3.  $w_c = 0.20\%$  的铁-碳合金平衡冷却到室温时的相为铁素体 F 和渗碳体 Fe<sub>3</sub>C, 其相对含量分别为

$$w_F = \frac{6.67 - 0.2}{6.67 - 0.008} = \frac{6.47}{6.662} = 0.9711 = 97.11\%$$

$$w_c = 1 - 0.9711 = 0.0289 = 2.89\%$$

$w_c = 0.20\%$  的铁-碳合金平衡冷却到室温时的相为铁素体 F 和珠光体 P, 其相对含量分别为

$$w_F = \frac{0.77 - 0.2}{0.77 - 0.0218} = \frac{0.57}{0.7482} = 0.7618 = 76.18\%$$

$$w_P = 1 - 0.7618 = 0.2382 = 23.82\%$$

4. 若上述合金要进行渗碳处理, 合适的渗碳温度应该是  $950^\circ\text{C}$  左右。这是因为在这个温度范围内, 该合金处于单相奥氏体区。奥氏体中碳的最大质量分数可

达 2.11%, 是铁素体中最大碳质量分数的 100 倍左右。在这个温度范围下, 合金可以溶入更多的碳。而且, 这时温度很高, 也有利于碳原子的扩散, 有利于渗碳过程的顺利进行。

#### 六、

1. 首先分析该反应式的几何条件:

$$\text{反应前 } \frac{a}{2}[101] + \frac{a}{6}[\bar{1}2\bar{1}] = \frac{a}{6}[303] + \frac{a}{6}[\bar{1}2\bar{1}] = \frac{a}{6}[222] = \frac{a}{3}[111] \text{ 和反}$$

应后完全一样, 满足位错反应的几何条件。

再来分析该反应式的能量条件:

$$\text{反应前的能量 } \frac{a^2}{4}(1+0+1) + \frac{a^2}{36}(1+4+1) = \frac{a^2}{2} + \frac{a^2}{6} = \frac{2a^2}{3}$$

$$\text{反应后的能量能量条件 } \frac{a^2}{9}(1+1+1) = \frac{a^2}{3}$$

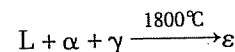
可见, 反应前位错体系所具有的能量是反应后位错体系所具有能量的两倍, 符合能量减小的原则。因此, 从位错反应的几何条件和能量条件来判断, 该位错反应是可以进行的。

反应前:  $\frac{a}{2}[101]$  是位于滑移面  $(\bar{1}11)$  上的单位位错, 而  $\frac{a}{6}[\bar{1}2\bar{1}]$  是位于滑移面  $(\bar{1}11)$  上的肖克莱不全位错。这两者都可以在滑移面  $(\bar{1}11)$  上运动, 属于可动位错。

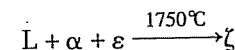
反应后的位错柏氏矢量垂直于  $(111)$  面, 属于不可动的弗兰克不全位错。

#### 2.

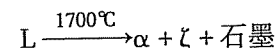
点 1 是四相包晶反应点, 其反应式为



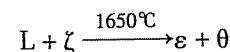
点 2 是四相包晶反应点, 其反应式为



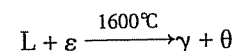
点 3 是四相共晶反应点, 其反应式为



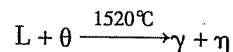
点 4 是四相包共晶反应点, 其反应式为



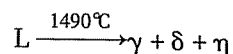
点 5 是四相包共晶反应点, 其反应式为



点 6 是四相包共晶反应点, 其反应式为



点 7 是四相共晶反应点, 其反应式为



## 西安理工大学

### 试 卷 二 十 二

#### 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、材料成型与控制、材料物理与化学

一、(每小题 10 分, 共 80 分) 简答题(下述 10 题中任选 8 道题回答)

1. 简述原子间四种结合键各自的特点, 并从结合键的角度讨论金属的力学特性。
2. 空间点阵和晶体结构有何区别? 常见金属晶体结构中有哪一种不属于空间点阵? 为什么?
3. Ni 的晶体结构为面心立方结构, 其原子半径为  $r = 0.1243\text{nm}$ , 试求 Ni 的晶格常数和致密度。
4. 若合金凝固过程中形成一半径为  $r$  的球形晶核, 试计算临界晶核半径和形核功的大小。(已知该合金的体积形核功为  $\Delta G_v$ , 表面能为  $\sigma$ )
5. 有两尺寸相同、形状相同的铜合金铸件, 一个含 Ni90%, 一个含 Ni50%, 铸后自然冷却, 问哪个铸件固态下偏析严重? 为什么?
6. 结晶、重结晶和再结晶三者概念上有何区别?
7. 说明金属材料经冷塑性变形后在不同回复阶段各种晶体缺陷的行为表现以及对应的材料物理、化学及力学性能的变化。
8. 为什么钢铁零件渗碳温度一般要选择在  $\gamma$  相区中进行? 若不在  $\gamma$  相区进行会有什么后果?
9. 说明奥氏体的概念, 简述奥氏体转变的形成过程及影响奥氏体晶粒长大的因素。
10. 简述碳钢的回火转变与回火组织。

二、(共 14 分) 已知位错环  $A'B'C'D'$  的柏氏矢量为  $b$ , 外应力为  $\tau$  和  $\sigma$ , 如图 22-1 所示。试求:

1. 位错环的各边分别是什么性质的位错?

2. 在足够大的切应力  $\tau$  的作用下, 位错环如何运动? 晶体如何变形?
3. 在足够大的正应力  $\sigma$  的作用下, 位错环如何运动? 晶体如何变形?

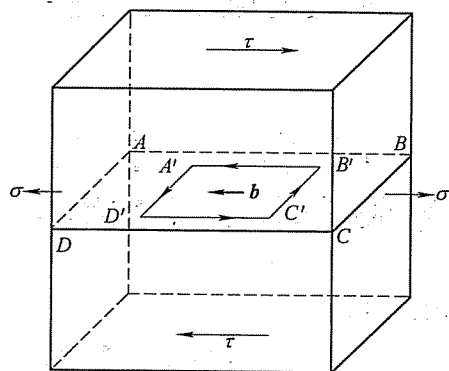


图 22-1 第二题图

三、(共 20 分) 在图 22-2 所示相图中:

1. 写出水平线上反应式。
2. 写出各区域的组织组成物。
3. 分析合金 I 的冷却过程, 写出室温时的组织组成物, 并计算该合金在  $T_3$  温度 (高温水平线) 时的平衡分配系数。
4. 写出室温时合金 I 和合金 II 组织组成物的相对含量的表达式。

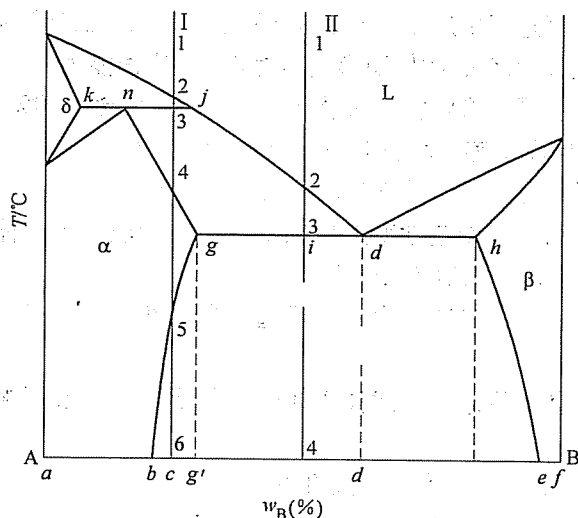


图 22-2 第三题图

四、(每小题 18 分, 共 36 分) 论述题

1. 在面心立方晶体中:

(1) 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。

(2) 若外力沿  $[001]$  方向, 材料的临界分切应力为  $0.64\text{MPa}$ , 请问需要多大的拉伸应力可以使晶体开始滑移?

2. 将共析钢加热至  $780^\circ\text{C}$ , 经保温后, 请回答:

(1) 若以图 22-3 所示的  $v_1$ 、 $v_2$ 、 $v_3$ 、 $v_4$ 、 $v_5$  和  $v_6$  的速度进行冷却, 各得到什么组织?

(2) 如将  $v_1$  冷却后的钢重新加热至  $530^\circ\text{C}$ , 经保温后冷却后又得到什么组织? 力学性能有何变化?

(3) 论述影响钢的淬透性的因素。

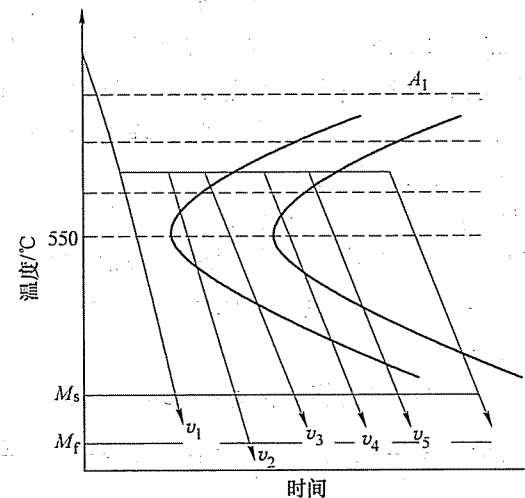


图 22-3 第四题第 2 小题图

## 标准答案

一、

1. 各种键的特点如表 22-1 所示。



表 22-1 四种化合价键的主要特点

类型	作用力来源	键强	形成晶体的力学性能特点
离子键	正负离子间的库仑引力	最强	硬度高, 强度大, 脆性大
共价键	相邻原子价电子各处于相反的自选状态, 原子核间的库仑引力	强	硬度高, 强度大, 脆性大
金属键	自由电子气与正离子之间的库仑引力	较强	塑性变形能力好, 强韧性高
二次键	原子与分子间由诱导或永久电偶极子相互作用而产生	弱	硬度低, 塑性、韧性好

金属键由于没有方向性和饱和性, 对原子也没有选择性, 在受外力作用下原子发生相对移动时, 金属正离子仍处于电子气的包围中, 金属键不会受到破坏, 因此金属能够经受变形而不断裂, 具有较好的塑性变形性能。

2. 晶体结构是指自然界中由原子、分子、离子与空间点阵结合而成, 实际存在的固体结构。而空间点阵是指阵点在空间呈规律分布, 并且每个阵点都具有完全相同的物质环境和几何环境。这样, 自然界中的晶体可以抽象为七大晶系 14 种布拉菲点阵。晶体结构相同的物质, 其空间点阵可能不同; 同样的空间点阵不同的物质, 其晶体结构也可能相同。

密排六方不是空间点阵, 原因是不满足几何环境相同的条件。

3. Ni 的晶体结构为面心立方结构, 故其晶格常数和致密度分别为

$$a = 2\sqrt{2} \cdot r = 2\sqrt{2} \times 0.1243\text{nm} = 0.35\text{nm}$$

$$K = 0.74$$

4. 形成一个晶核时, 体系的自由能变化为:  $\Delta G = V \cdot \Delta G_v + \sigma \cdot S$ 。

当晶核为球形时, 将  $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ ,  $S = 4\pi r^2$  代入, 令  $\frac{d(\Delta G)}{dr} = 0$ , 求出  $r^* =$

$$-\frac{2\sigma}{\Delta G_v}$$

5. 含 Ni50% 的铸件固态下偏析严重, 因为固态时的成分偏析是由于固溶体合金凝固过程中存在溶质分配现象造成的。含 Ni50% 的铸件在凝固过程中溶质变化的浓度差值大, 而且凝固过程中经过温度变化的区间也大, 这些都会造成溶质分配的不均匀程度增加, 因此凝固后铸件的偏析越严重。

6. 结晶——指物质由液态变为晶体固态的相变过程。

重结晶——指在固态情况下, 物质由一种结构转变成另一种结构, 即同素异构反应。

再结晶——将冷压力加工以后的金属加热到一定温度后, 在变形的组织中重新产生新的无畸变的等轴晶粒, 性能恢复到冷加工前的软化状态的过程。

三者的区别与联系: 结晶发生相变, 重结晶发生固态相变过程, 再结晶没有。但它们全部都有形核与核长大的过程。结晶发生的驱动力是液固两相的界面能差, 重结晶的驱动力为新旧两相的自由能差, 而再结晶为储存能。再结晶后强度硬度下降而塑性和韧性提高, 重结晶后材料的强度、塑性、韧性都会改善。

7. 金属经冷塑性变形后, 各种缺陷明显增加, 在随后的不同热处理阶段又会发生不同的变化:

在低温回复阶段, 冷变形后所产生的大量空位, 通过空位迁移至表面或晶界、空位与间隙原子重新重合、空位与位错发生交互作用、空位聚集成空位片等方式, 使得空位等点缺陷数量急剧减少。这时材料的电阻减小, 达到接近冷变形前的状态, 但力学性能基本不变。

在中温回复阶段, 主要表现为位错的滑移, 导致位错的重新结合, 异号位错的汇聚而抵消以及亚晶的长大。这时对应材料的第一类应力消除, 金属构件的尺寸稳定; 第二类应力基本消除, 抗应力腐蚀能力提高, 但力学性能仍然变化不明显。

在高温回复阶段, 位错不仅可以滑移同时也发生攀移, 使得多层滑移面上的位错密度趋于相同, 各位错之间的作用力使得同一滑移面上的位错分布均匀, 间距大体相等, 形成规则排列的垂直于滑移面的位错墙, 即形成小角度晶界, 它将原晶粒分隔成若干个亚晶粒。这时材料的物理、化学性能完全恢复到塑性变形前, 力学性能稍有变化, 强度有所降低, 塑性稍有提高。

8.  $\gamma$ -Fe 即奥氏体中溶碳量最大可达到 2.11%, 而  $\alpha$ -Fe 仅能溶解 0.0218% 碳, 形成的浓度梯度小, 扩散系数也小; 另外由于  $\gamma$ -Fe 为高温相,  $D$  值大, 所以在  $\gamma$ -Fe 中渗碳。

若不在该区内进行处理, 将很难达到渗碳的目的。

9. 奥氏体: C 溶解在  $\gamma$ -Fe 中的固溶体。

形成过程: 奥氏体生核, 长大, 残余渗碳体溶解, 奥氏体均匀化。

影响晶粒长大的因素: 加热温度、保温时间、加热速度、含碳量、合金元素、冶炼方法、原始组织等。

10. (1) 低温回火。温度: 150 ~ 250℃; 组织: 回火 M (F +  $\epsilon$ -碳化物); 性能: 残余应力消除, 高硬度 + 高强度, 较低的塑性和韧性。

(2) 中温回火。温度: 350 ~ 500℃; 组织: 回火 T (F + 极细粒状渗碳体); 性能: 较高的屈服强度, 高弹性极限, 较好的塑性和韧性。

(3) 高温回火。温度 500 ~ 650℃; 组织: 回火 S (F + 细粒状渗碳体); 性能: 高的塑性和韧性, 较低的屈服强度和硬度。

二、

1. 由位错线和  $b$  之间的关系, 可以判断:  $\overline{A'B'}$  是右螺型位错,  $\overline{C'D'}$  是左螺型

位错,  $\overline{B'C'}$  是正刃型位错,  $\overline{D'A'}$  是负刃型位错。

2. 在  $\tau$  的作用下, 位错环下部分晶体将沿  $b$  的方向运动, 上部分晶体则反向运动。这样将导致位错环的各边向环的外侧运动, 从而导致位错环的扩大。当位错环滑动出晶体后, 晶体的上下部分将会沿  $b$  的方向产生一个  $|b|$  大小的台阶。

3. 在  $\sigma$  的作用下, 位错环中最终  $\overline{B'C'}$  沿垂直滑移面向下运动,  $\overline{D'A'}$  沿垂直滑移面向上运动, 位错的半原子面将扩大, 而  $\overline{A'B'}$  和  $\overline{C'D'}$  两条螺型位错不会产生攀移, 故不动。当位错环滑动出晶体后, 晶体的形状不变, 但沿  $b$  方向的厚度增加。

三、

1. 高温区水平线为包晶线, 包晶反应为:  $L_j + \delta_k \rightarrow \alpha_n$

中温区水平线为共晶线, 共晶反应为:  $L_{d'} \rightarrow \alpha_g + \beta_h$

2. 各区域组织组成物见图 22-4。

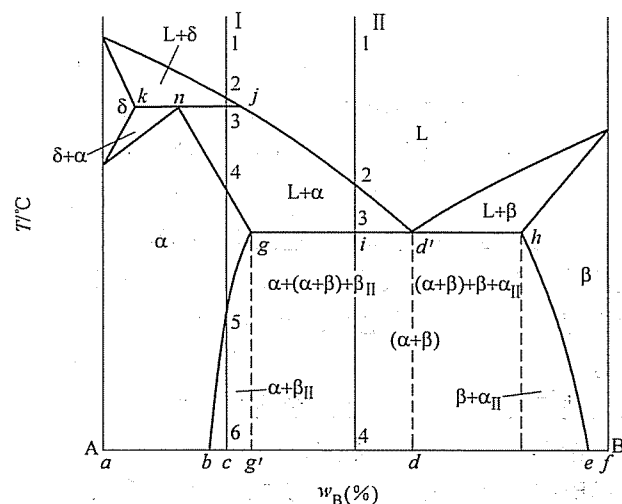


图 22-4 第三题第 2 小题解答图

3. I 合金的冷区曲线和结晶过程如图 22-5 所示。

1~2, 均匀的液相 L。

2~3, 匀晶转变,  $L \rightarrow \delta$ , 不断结晶出  $\delta$  相。

3~3', 发生包晶反应  $L + \delta \rightarrow \alpha$ 。

3'~4, 剩余液相继续结晶为  $\alpha$ , 凝固完成, 全部为  $\alpha$ 。

4~5, 为单一  $\alpha$  相, 无变化。

5~6, 发生脱溶转变,  $\alpha \rightarrow \beta_{II}$ , 室温下的组织为  $\alpha + \beta_{II}$ 。

I 合金在  $T_3$  温度时的平衡分配系数为

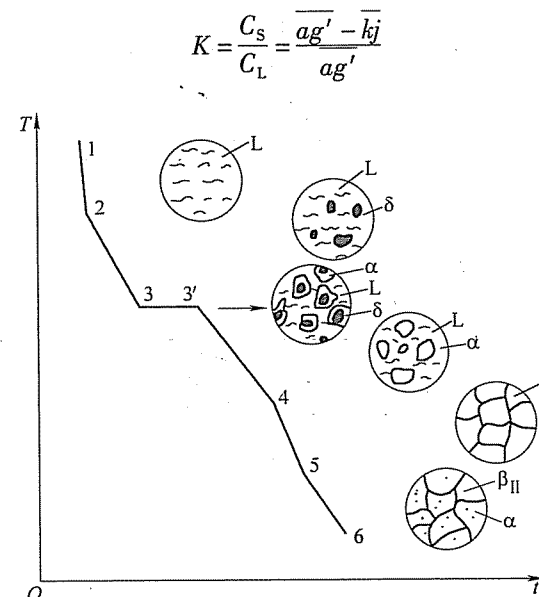


图 22-5 第三题第 3 小题解答图

4. 合金 I 室温时组织组成物为:  $\alpha + \beta_{II}$ 。合金 II 室温时组织组成物为:  $\alpha + (\alpha + \beta) + \beta_{II}$ 。其组织组成物的相对含量表示如下:

$$\text{合金 I} \quad w_{\alpha} = \frac{\overline{ec}}{\overline{eb}} \times 100\%$$

$$w_{\beta_{II}} = \frac{\overline{cb}}{\overline{eb}} \times 100\%$$

合金 II

$$w_{\alpha} = \frac{\overline{d'i}}{\overline{d'g}} \times 100\% - w_{\beta_{II}}$$

$$w_{(\alpha+\beta)\text{共}} = \frac{\overline{ig}}{\overline{d'g}} \times 100\%$$

$$w_{\beta_{II}} = \frac{\overline{bg'}}{\overline{be}} \times \frac{\overline{d'i}}{\overline{d'g}} \times 100\%$$

四、

1.

(1) 如图 22-6 所示, 可作滑移面的为  $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$  和  $(111)$ , 滑移方向为  $[\bar{1}10]$  和  $[0\bar{1}1]$ , 它们可以构成两组滑移系。

(2) 若外力沿  $[001]$  方向, 仅滑移系  $(111)[0\bar{1}1]$  可以滑移, 其中

$$\lambda = 45^\circ \quad \cos \lambda = \cos 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\cos \phi = \frac{|1 \times 0 + 1 \times 0 + 1 \times 1|}{\sqrt{1^2 + 1^2 + 1^2} \times \sqrt{0^2 + 0^2 + 1^2}} = \frac{\sqrt{3}}{3}$$

$$\sigma = \frac{\tau}{\Omega} = \frac{0.64}{\cos\lambda \cdot \cos\phi} = 1.57 \text{ MPa}$$

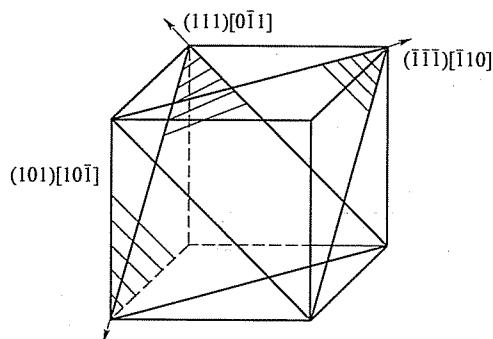


图 22-6 第四题第 1 小题解答图

2.

(1)  $v_1$ : M + A<sub>残留</sub>;  $v_2$ : T + M;  $v_3$ : S + T + M + A<sub>残留</sub>;  $v_4$ : S + T;  $v_5$ : S;  
 $v_6$ : S。

(2) S 回火, 硬度有所下降, 塑性、韧性等上升, 综合力学性能提高。

(3) 影响材料淬透性的因素有:

1) 钢的化学成分

①碳含量: 碳含量增加, 淬透性增加。

②合金元素: 除 Ti、Zr、Co 外, 其他元素的加入会增加淬透性。

2) 奥氏体晶粒度: 奥氏体晶粒度越大, 淬透性越大。

3) 奥氏体化温度, 奥氏体化温度越高, 淬透性越大。

## 试 卷 二 十 三

### 2008 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目: 材料科学基础

适用专业: 材料科学与工程

一、(每小题 4 分, 共 20 分) 名词解释

1. 成分过冷 2. 中间相 3. 离异共晶 4. 反应扩散 5. 动态再结晶

二、(每小题 10 分, 共 50 分) 简答题 (任选五题)

1. 原子间的结合键共有几种? 各自特点如何? 试从结合键的角度讨论金属的力学特性。

2. 写出 BCC 晶体中的配位数、致密度、原子半径  $r$  与点阵常数  $a$  的关系式, 并在一个 BCC 晶胞中画出其室温时的一组滑移系, 标出密排面与密排方向。

3. 在晶体中有一平面环状位错线, 这个位错环上各点位错类型是否相同? 为什么? 若将其正向定义为原来的反向, 此位错的柏氏矢量是否改变? 位错的类型性质是否变化?

4. 依据反应温度由高到低, 依次写出 Fe-Fe<sub>3</sub>C 合金系中三相平衡反应的反应式, 并分别说明 Fe<sub>3</sub>C<sub>I</sub>、Fe<sub>3</sub>C<sub>II</sub>、Fe<sub>3</sub>C<sub>III</sub>、Fe<sub>3</sub>C<sub>共析</sub> 和 Fe<sub>3</sub>C<sub>共晶</sub> 的来源及形貌特征。

5. 简述碳钢的不同回火温度范围及其对应的回火组织类型。

6. 试分析冷变形量对再结晶晶粒尺寸的影响。

7. 某工厂对一大型零件进行淬火处理, 经过 1100℃ 加热后, 用冷拉钢丝绳吊挂, 由起重吊车送往淬火水槽, 行至途中钢丝突然发生断裂。该钢丝是新的, 且没有瑕疵, 试分析该钢丝绳断裂的原因。

三、(15 分) 计算题

一个直径为 1mm 的圆柱形面心立方金属单晶体试样, 写出其在 (111) 晶面上可能存在的滑移系; 当拉伸轴的方向为 [001], 临界分切应力为 0.64MPa, 问多大拉伸力能使晶体开始滑移?

四、(共 25 分) 相图分析

某固溶体合金的相图如图 23-1 所示, 试根据相图确定:

1. 在平衡结晶过程中, 若首先凝固出来的固体成分含 70% B, 则合金的成分为多少? 计算此时合金凝固的平衡分配系数。

2. 合金成分为 50% B, 凝固到某温度时液相含有 40% B, 固体含有 80% B, 此时液体和固体各占多少分数?

3. 成分分别为 10% B 和 50% B 的合金, 若凝固时均发生偏析, 哪种合金的偏析程度更大, 为什么?

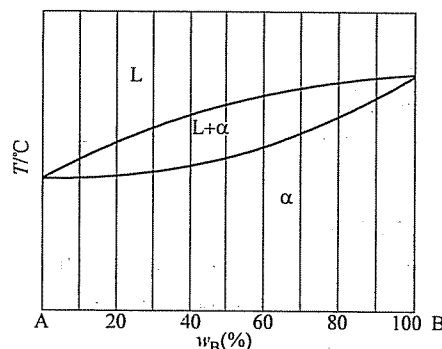


图 23-1 第四题图

五、(每小题 20 分, 共 40 分) 论述 (任选两题)

1. 什么是固溶体? 影响固溶度的原因有哪些? 固溶体与其纯组元相比, 其结构、力学性能和物理性能发生了哪些变化?

2. 用柯氏气团理论解释低碳钢存在的屈服平台现象。

3. 简述马氏体高强度的本质。

## 标准答案

一、

1. 成分过冷: 固溶体合金凝固时, 由于液相中溶质的分布发生变化, 合金熔点也发生变化, 即使实际温度分布不变, 固液界面前沿的过冷度也会发生变化。所以固溶体合金的过冷度是由变化着的合金的熔点与实际温度分布两个方面的因素共同决定的。这种因液相成分变化而形成的过冷称为成分过冷。

2. 中间相: 指合金组元间相互作用, 当超过固溶体的固溶极限时可形成晶格结构和特性完全不同于任一组元的具有金属特性的新相。由于在相图中往往处于中间部位, 因此又称为中间相。

3. 离异共晶: 成分点靠近共晶转变线两端的亚共晶和过共晶合金, 结晶后组织中初晶量多, 共晶体数量少, 而且共晶体中与初晶相同的一相与初晶结合在一起, 将共晶体中另一相推至晶界, 造成的共晶体两相分离的非平衡组织。

4. 反应扩散: 在固态扩散的过程中, 如果渗入元素在金属中溶解度有限,

随着扩散原子增多, 当渗入原子的浓度超过溶解度时则形成不同于原相的固溶体或中间相, 从而使金属表层分为出现新相和不出现新相的两层, 这种通过扩散而形成新相的过程, 称为反应扩散。

5. 动态再结晶: 在金属塑性变形过程中发生的再结晶, 即形变硬化与再结晶软化同时进行的过程。这样可以不断形成位错密度很低的新晶粒, 得到的组织细小, 综合力学性能好。

二、

1. 原子结合键共有四种, 分别为: 金属键、离子键、共价键和分子键。其各自特点如表 23-1 所示。

金属键由于没有方向性和饱和性, 对原子也没有选择性, 在受外力作用下原子发生相对移动时, 金属正离子仍处于电子气的包围中, 金属键不会受到破坏, 因此金属能够经受变形而不断裂, 具有较好的塑性变形性能。

表 23-1 原子结合键的异同点

类型	作用力来源	键强	形成晶体的力学性能特点
离子键	正负离子间的库仑引力	最强	硬度高, 强度大, 脆性大
共价键	相邻原子价电子各处于相反的自选状态, 原子核间的库仑引力	强	硬度高, 强度大, 脆性大
金属键	自由电子气与正离子之间的库仑引力	较强	塑性变形能力好, 强韧性高
分子键	原子与分子间由诱导或永久电偶极子相互作用而产生	弱	硬度低, 塑性、韧性好

2. BCC 晶体的配位数为 8, 致密度为 0.68, 其中原子半径  $r$  与点阵常数  $a$  的关系式:  $r = \frac{\sqrt{3}}{4}a$ 。图 23-2 为体心立方的一组滑移系示意图。

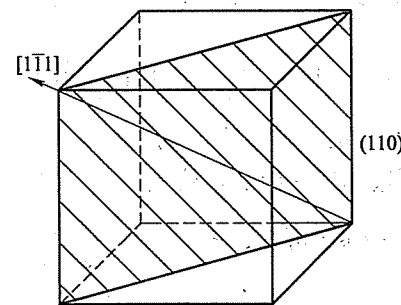
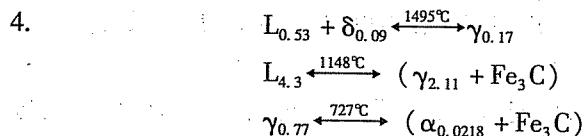


图 23-2 第二题第 2 小题解答图

3. 位错类型决定于位错线和柏氏矢量的相互关系, 因此在晶体某平面中的同一个位错环上各点的位错类型有可能相同 (纯刃型相同), 也有可能不同 (混

合型相反)。是。否。



$\text{Fe}_3\text{C}_{\text{I}}$ : 来源于液相, 是白色长条状。

$\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$ : 来源于奥氏体脱溶反应, 一般沿晶界呈网状分布。

$\text{Fe}_3\text{C}_{\text{III}}$ : 来源于铁素体脱溶反应, 一般沿晶界呈网状分布。

$\text{Fe}_3\text{C}_{\text{共析}}$ : 共析产物珠光体中的渗碳体, 一般情况下为层片状分布。

$\text{Fe}_3\text{C}_{\text{共晶}}$ : 共晶产物莱氏体中的渗碳体, 一般情况下作为基体存在。

5. 低温回火:  $150 \sim 250^{\circ}\text{C}$ ; 组织: 回火 M ( $\text{F} + \varepsilon$ -碳化物); 性能: 残余应力消除, 高硬度 + 高强度, 较低的塑性和韧性。

中温回火:  $350 \sim 500^{\circ}\text{C}$ ; 组织: 回火 T ( $\text{F} +$  极细粒状渗碳体); 性能: 较高的屈服强度, 高弹性极限, 较好的塑性和韧性。

高温回火:  $500 \sim 650^{\circ}\text{C}$ ; 组织: 回火 S ( $\text{F} +$  细粒状渗碳体); 性能: 高的塑性和韧性, 较低的屈服强度和硬度。

6. 当冷变形度小于临界变形度时, 再结晶后晶粒基本保持冷变形前的状态, 因储存能很少, 实际上再结晶并没有进行, 因此冷变形量与再结晶晶粒的尺寸无关; 当冷变形度增大至临界变形度时, 冷变形储存能足以驱动再结晶的进行, 但因整体变形度小且不均匀, 只有少数变形度大的地方能够形成晶核并长大, 此时因  $G \gg N$ , 仅有少数晶核形成又迅速长大, 故再结晶后晶粒达到最大; 超过临界变形度后, 冷变形量与再结晶晶粒的尺寸成反比, 当变形度达到一定的数量时, 晶粒尺寸基本不变。

7. 这是因为冷拔钢丝在吊起加热后的零件时, 与零件相接的部分温度较高, 发生了局部再结晶, 导致部分钢丝绳的硬度、强度下降而断裂。

三、

可能存在的滑移系有:  $(111) [\bar{1}\bar{1}0]$ 、 $(111) [\bar{1}01]$ 、 $(111) [01\bar{1}]$ 。

当拉伸轴方向为  $[001]$  时, 滑移面上的  $(111) [1\bar{1}0]$  不滑移, 其余两个滑移系为等效滑移系。可选择任一组数值代入公式计算:

$$\text{由 } \tau = \sigma \Omega = \frac{P}{A} \cdot \cos \lambda \cdot \cos \varphi \text{ 可知, } P = \frac{\tau A}{\cos \lambda \cos \varphi} = \frac{\tau \pi r^2}{\cos \lambda \cdot \cos \varphi}$$

其中:

$$\cos \lambda = \frac{|au + bv + cw|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2} \cdot \sqrt{u^2 + v^2 + w^2}}$$

$$\cos \varphi = \frac{|ah + bk + cl|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2} \cdot \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

式中,  $ABC$  分别为外力的晶向指数值。

代入数值, 计算得到:  $P = 1.23\text{N}$

计算可知需要的拉伸力为  $1.23\text{N}$ 。

四、

1. 过固体成分为 70% B 的位置作水平线, 交相图的液相线于一点, 该点所对的横坐标为此时液体的成分, 然后读出数值, 代入公式:  $K_0 = \frac{C_a}{C_L}$ , 算出数值即可。

2. 利用杠杆定理计算:

$$\text{液体所占的比例} = \frac{C_a - C_0}{C_a - C_L} = \frac{80 - 50}{80 - 40} = 75\%, \text{ 则固体为 } 1 - 75\% = 25\%。$$

3. 成分为 50% 的合金偏析更大, 这是因为固态时的成分偏析是由于固溶体合金凝固过程中存在溶质分配现象造成的。含 Ni50% 的铸件在凝固过程中溶质变化的浓度差值大, 而且凝固过程中经过温度变化的区间也大, 这些都会造成溶质分配的不均匀程度增加, 因此凝固后铸件的偏析越严重。

五、

1. 固溶体是指以合金某一组元为溶剂, 在其晶格中溶入其他组元原子 (溶质) 后所形成的一种合金相, 其特征是仍保持溶剂的晶格类型, 结点上或间隙中含有其他组元原子。

影响固溶度的原因有: 原子尺寸因素、电负性因素、电子浓度因素以及晶体结构因素。

与组成固溶体的纯组元相比, 固溶体的晶格类型不发生变化, 但点阵常数都会发生变化; 其硬度、强度升高, 而塑性、韧性相对下降, 但综合力学性能优于纯金属; 与纯金属相比, 固溶体的电阻率升高, 电阻温度系数减小, 而耐蚀性也下降。

2. 低碳钢试样拉伸过程中, 一些小尺寸的间隙原子, 如 C、H、O、N 等会聚集在位错线的下方, 形成柯氏气团, 对位错线有钉扎作用, 故形变材料要在较高的应力作用下位错线才能脱钉而开始运动, 这样在应力-应变曲线上产生了上屈服点, 即产生一段平台。当位错线脱钉时应力会突然下降, 于是出现上屈服点。一旦位错线挣脱了柯氏气团的钉扎, 就会在较低的应力下继续运动, 于是就出现下屈服点。

3. 马氏体具有高强度的原因是多方面的, 其中主要包括相变强化、固溶强化和时效强化等。

相变强化: 马氏体相变的切变造成在晶体内产生大量的微观缺陷 (位错、孪晶以及层错), 使马氏体得到强化。

固溶强化: 过冷奥氏体切变形成马氏体时, 使得  $\alpha$  相中的 C% 过饱和, C 原子位于  $\alpha$  相扁八面体中心, C 原子溶入后形成以 C 原子为中心的畸变偶极应力场, 这个应力场与位错产生强烈的交互作用, 使马氏体的强度升高。

时效强化: 溶质原子 (C、N) 偏聚到位错线处, 钉扎位错使得马氏体的强度升高。

相界强化: M 板条、片尺寸小, 界面增加, 位错阻力增加, 强度、硬度增加。

细晶强化: 原始晶粒细小, M 尺寸小, 强度、硬度增加。

化学成分: 加入碳化物形成元素 Cr、W、Mo、V 等, 降低扩散系数, 反之亦然; 加入 A 组元, 使 B 组元熔点降低, 则扩散系数提高, 反之亦然。

## 试 卷 二 十 四

### 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、材料成型与控制、材料物理与化学

#### 一、(每小题 12 分, 共 96 分) 简答题 (任选 8 题)

1. 氯化钠的晶体结构是否属于布拉菲点阵? 为什么? 如果不是, 则其点阵为哪种点阵类型?

2. 写出 BCC 晶体中的配位数 ( $N$ )、致密度 ( $K$ )、原子半径  $r$  与点阵常数  $a$  的关系式, 在一个 BCC 晶胞中画出其室温时的一组滑移系并标出密排面与密排方向。

3. 试从结合键的角度讨论一般情况下金属材料比陶瓷材料表现出更高塑性或延展性的原因。

4. 分析“在液态金属中, 凡是涌现出小于临界晶核半径的晶胚都不能成核, 但是只要有足够的能量起伏提供形核功, 还是可以成核的。”这段话是否正确, 并回答纯金属材料形核时必须满足哪些条件。

5. 金属材料生长形态的影响因素有哪些? 在相同的温度梯度下纯金属和固溶体合金的生长形态是否相同? 请说明原因。

6. 为细化某纯铝件的晶粒, 将其冷变形 5% 后于 650℃ 退火 1h, 组织反而粗化; 增大冷变形量至 80% 再于 650℃ 退火 1h, 仍然得到粗大晶粒。试分析其原因, 指出上述两种工艺不合理之处及原因, 并回答影响再结晶晶粒度的因素。

7. 对于固体材料将其晶粒细化后其力学性能会有何种变化? 解释原因。并回答对于铸件能否采用再结晶的方法细化晶粒, 为什么?

8. 为什么钢铁零件渗碳温度一般要选择在  $\gamma$  相区中进行? 若不在  $\gamma$  相区进行会有什么结果?

9. 何为金属材料的加工硬化? 如何解决加工硬化给后续加工带来的困难?

10. 简述碳钢的不同回火温度范围及其对应的回火组织类型。

#### 二、(共 9 分) 计算题

已知纯铜的滑移系的临界切应力  $\tau_c$  为 1 MPa, 问:

1. 要使  $(\bar{1}11)$  面上产生  $[101]$  方向的滑移, 则在  $[101]$  方向上至少需施加多大的应力?

2. 要使  $(\bar{1}11)$  面上产生  $[110]$  方向的滑移, 则在  $[110]$  方向上至少需施加多大的应力?

三、(共 10 分) 如图 24-1 所示的晶体中,  $ABCD$  滑移面上有一个位错环, 位错线方向为逆时针方向, 其柏氏矢量  $b$  平行于  $\vec{AC}$ 。

1. 指出位错环各部分的位错类型。
2. 若柏氏矢量  $b$  垂直于位错环所在的水平面, 指出位错环各部分的位错类型。
3. 在图中表示出使位错环向外运动所需施加的切应力方向。
4. 该位错环运动出晶体后, 晶体外形如何变化?

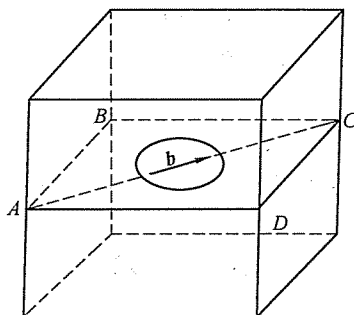


图 24-1 第三题图

#### 四、(共 20 分) Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图分析

1. 默画 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图, 标出各点的含碳量并写出三条水平线上的反应。
2. 若有两个钢试样, 经组织分析其珠光体的含量相同, 能否得出这两种试样是同一种材料? 为什么?
3. 计算含碳量为 4.28% 的铁碳合金在 1148℃ 温度的平衡分配系数, 并说明其在该温度平衡凝固和非平衡凝固时组织上出现的差别。
4. 分析含碳量为 1.8% 的铁碳合金的平衡结晶过程, 并计算其最终组织组成物和相组成物的相对含量。

五、(15 分) 利用位错理论分析论述第二相粒子对合金塑性变形及强度的影响。

## 标准答案

一、

1. 不属于。原因略。它是面心立方点阵。

2. BCC 晶体的配位数为 8, 致密度为 0.68, 其中原子半径  $r$  与点阵常数  $a$  的关系式为:  $r = \frac{\sqrt{3}}{4}a$ 。图 24-2 为体心立方的一组滑移系示意图。

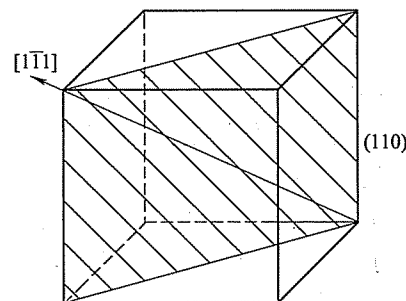


图 24-2 第一题第 2 小题解答图

3. 金属材料的化学键以金属键为主, 陶瓷材料往往以离子键为主。相对于离子键中电子是一一对应的, 金属键中自由电子围绕原子核自由运动, 因此价键没有饱和性和方向性, 当材料受力而发生相对位移时, 电子移动对化学价键并没有破坏, 因此金属材料较陶瓷材料具有较好的延展性。

4. 这段话前半句正确, 后半句不正确。如果晶核半径不能达到临界晶核半径, 即使得到的能量再多也不能形成晶体的晶核。

形成金属材料的晶核所需满足的条件: ①尺寸条件应大于或等于临界晶核半径; ②能量条件是大于或等于形核功; ③要有一定的过冷度。

5. 影响金属材料生长形态的因素主要有: 液固界面中固体的界面结构、液固界面前沿的液体中温度梯度的分布。

在相同温度梯度下, 纯金属和固溶体结构的生长形态不一定相同。例如正温度梯度下, 纯金属往往形成平面状的晶体形态, 而固溶体由于选分结晶现象导致出现成分过冷现象, 造成其晶体形态往往是树枝晶状态的。

6. 第一种是变形量不合适, 达到临界变形量的尺寸; 第二种工艺是由于变形量过大, 等加热温度过高时出现二次再结晶导致晶粒尺寸过大。

影响再结晶晶粒度的因素: 冷变形度、原始晶粒尺寸、退火温度、杂质及合金元素。

7. 固体材料将其晶粒细化后, 会出现细晶强化的现象, 即材料的强度、硬度、塑性、韧性同时提高。这是因为: 由于晶粒细小, 可供塞积位错的滑移面较短, 塞积位错的数目较少, 由位错塞积引起的应力集中分散于各个晶粒中, 使其屈服强度升高。另一方面, 由于晶粒细小, 在相同的外力作用下, 处于滑移有利方向的晶粒数较多, 应力分散在各晶粒中, 即使在受到大的塑性变形时, 仍然保持其较好的性能, 而不致开裂, 从而提高材料的韧性。

对于金属铸件则不能采用再结晶的方法细化晶粒,这是因为:一方面再结晶过程需要在一定的形变基础上,由储存能提供一定的能量进行晶粒的重新形核、长大;铸件没有进行过形变。另一方面,由于再结晶温度过低,铸件也不可能通过重结晶相变细化晶粒。

8.  $\gamma$ -Fe 即奥氏体中溶碳量最大可达到 2.11%, 而  $\alpha$ -Fe 仅能溶解 0.0218% 碳,形成的浓度梯度小,扩散系数小; $\gamma$ -Fe 为高温相,  $D$  值大,所以在  $\gamma$ -Fe 中渗碳。 $\gamma$ -Fe 相存在的温度高,这时原子的运动速度大,也会促进扩散的进行。因此渗碳往往选择在  $\gamma$ -Fe 区进行。

若不在该区内进行处理,即使原子可以充分扩散,由于  $\alpha$ -Fe 最多仅能溶解 0.0218% 碳,这样渗碳层的碳浓度也会很低,达不到渗碳的目的。

9. 金属材料在塑性变形过程中,随着变形量的增加,强度和硬度不断上升,而塑性和韧性不断下降,这一现象称为“加工硬化”。该现象的原因是由于外力增加使得位错不断增殖,位错之间相互交结、反应使得位错的运动变得困难。该现象可以用再结晶退火处理消除加工硬化对后续加工带来的困难。

10. 低温回火: 150 ~ 250℃; 组织: 回火 M ( $F + \varepsilon$ -碳化物); 性能: 残余应力消除, 高硬度 + 高强度, 较低的塑性和韧性。

中温回火: 350 ~ 500℃; 组织: 回火 T ( $F +$  极细粒状渗碳体); 性能: 较高的屈服强度, 高弹性极限, 较好的塑性和韧性。

高温回火: 500 ~ 650℃; 组织: 回火 S ( $F +$  细粒状渗碳体); 性能: 高的塑性和韧性, 较低的屈服强度和硬度。

二、

$$\text{因为: } \sigma = \frac{\tau}{\Omega} = \frac{\tau}{\cos\lambda \cdot \cos\varphi}$$

两个滑移系无论是加多大的力都不能滑移,这是因为第一个滑移系中外力与滑移面垂直,第二个滑移系中外力与滑移方向垂直,因此无论是加多大的应力两个滑移系都不会开动。

三、如图 24-3 所示。

1.  $C'$  点为负刃型位错,  $A'$  点为正刃型位错,  $B'$  点为左螺型位错,  $D'$  点为右螺型位错。其他各点处为混合型位错。

2. 由于柏氏矢量与位错线全部垂直,则位错环上所有位错都为刃型位错。

3. 如图 24-3a 所示,在晶体的上下底面施加一对平行于柏氏矢量的切应力,且下底面内的切应力与柏氏矢量同向平行。(正确画出得 2 分)

4. 如图 24-3b 所示,滑移面下部晶体相对于上部晶体产生与柏氏矢量相同的滑移,并在晶体侧表面形成相应台阶。

四、

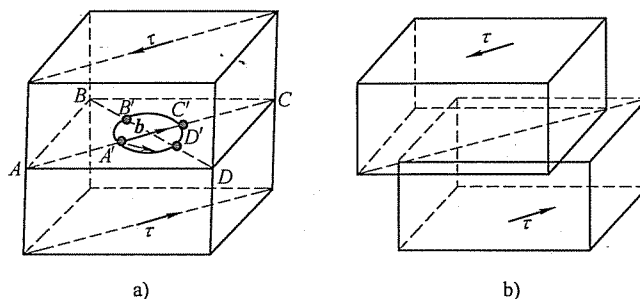


图 24-3 第三题解答图

1. 略

2. 不能,因为珠光体只是钢中的一种组织,亚共析钢和过共析钢的珠光体在组织中可以一致,但碳含量却不一致。

$$3. \quad K_0 = \frac{C_s}{C_L} = \frac{0.0211}{0.043} = 0.49$$

平衡凝固得到奥氏体 + 莱氏体, 非平衡凝固得到伪共晶莱氏体组织。

4. 冷却过程分析略。

$$w_P = \frac{6.69 - 1.8}{6.69 - 0.77} \times 100\% = 82.6\%$$

组织相对含量为:

$$w_{Fe_3C} = 17.4\%$$

$$w_F = \frac{6.69 - 1.8}{6.69 - 0.0218} \times 100\% = 73.3\%$$

相组成物的相对含量为:

$$w_{Fe_3C} = 26.7\%$$

五、如图 24-4 所示,第二相粒子与位错的交互作用有如下两种情况:

第一种: 如图 24-4a 所示,第二相粒子较硬,位错线无法通过,于是位错线就绕过去,如此反复。阻碍位错线通过的微粒的有效尺寸不断加大,使得位错先要绕过微粒的临界应力不断上升,后续的位错先绕过时越来越难,塑性变形抗力不断增大,材料的强度则显著提高。

第二种: 如图 24-4b 所示,第二相粒子较软,位错线可以将第二相微粒切割并沿其滑移面通过,这样就增加了界面能、畸变能、位错应变能等能量的上升,则位错的滑移必须做额外的功才能克服上述能量的增加。因此材料的屈服强度上升,材料得到强化。



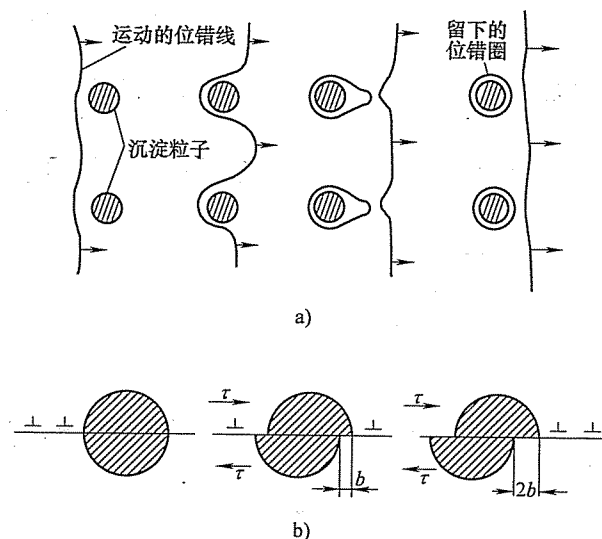


图 24-4 第五题解答图

a) 位错绕过微小的沉淀第二相粒子 b) 位错切割第二相粒子

## 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?

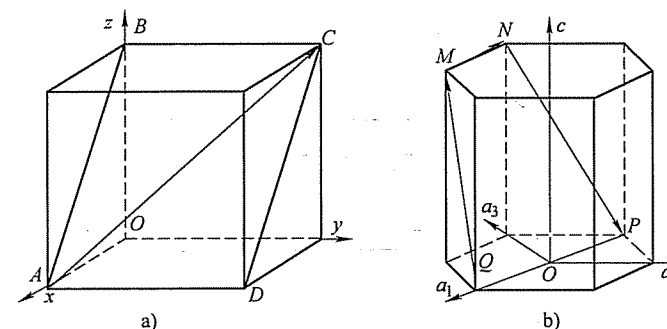
(3) (4 分) 写出  $ABCD$  晶面的面间距。(4) (6 分) 当分别在晶体的  $[\bar{1}\bar{1}1]$ 、 $[1\bar{1}2]$ 、 $[123]$  方向拉伸时, 其中哪一个方向的拉应力能使  $ABCD$  晶面及  $AC$  晶向组成的滑移系首先开动?(5) (2 分) 当  $ABCD$  晶面及  $AC$  晶向组成的滑移系首先开动后, 下一个开动的滑移系是什么?

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  $\sigma_e$  和螺位错的应力场  $\sigma_s$  公式如下:

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

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

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  $\tau_{xy}$  作用下, 单位长度各段位错所受的力各是多大, 在什么方向?

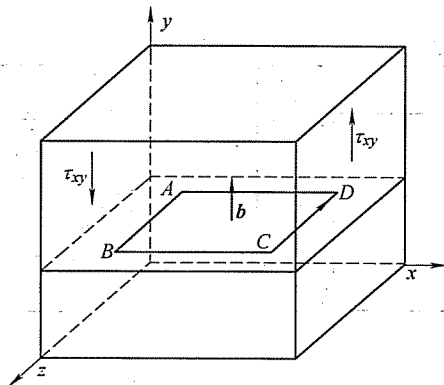


图 25-2 第二题图

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℃ 进行长时间加热时发生严重脱碳, 工件表面碳质量分数  $w_c = 0$ 。试画出 780℃ 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  $w_c$ 。

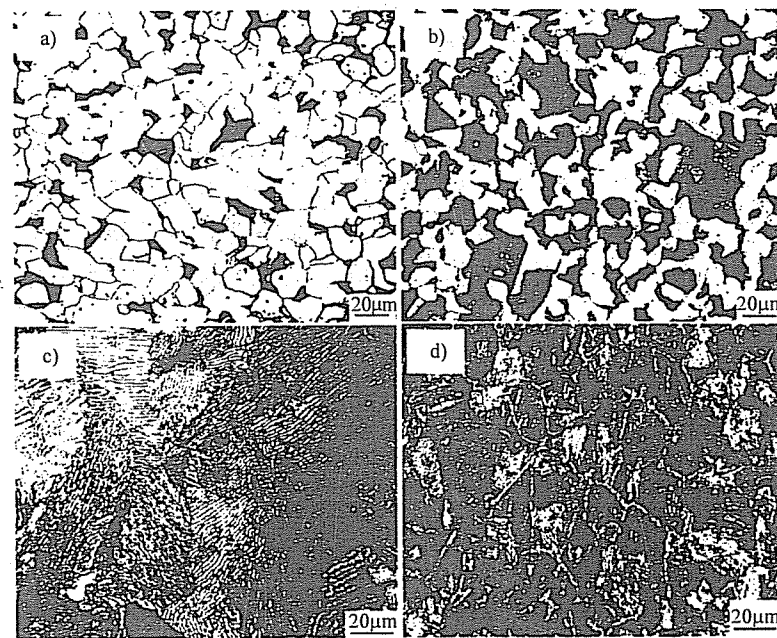


图 25-3 第三题第 4 小题图

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  $w_B = 20\%$  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  $\alpha$  固溶体段占棒长的分数  $\frac{z}{L}$ 。

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

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  $\alpha$  固溶体段的平均 B 含量  $\overline{w_B}$ 。  
 4. (5分) 该棒单相  $\alpha$  固溶体段是否会生长成树枝晶? 为什么?

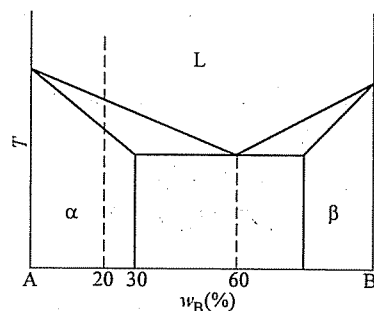


图 25-4 第四题图

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)。

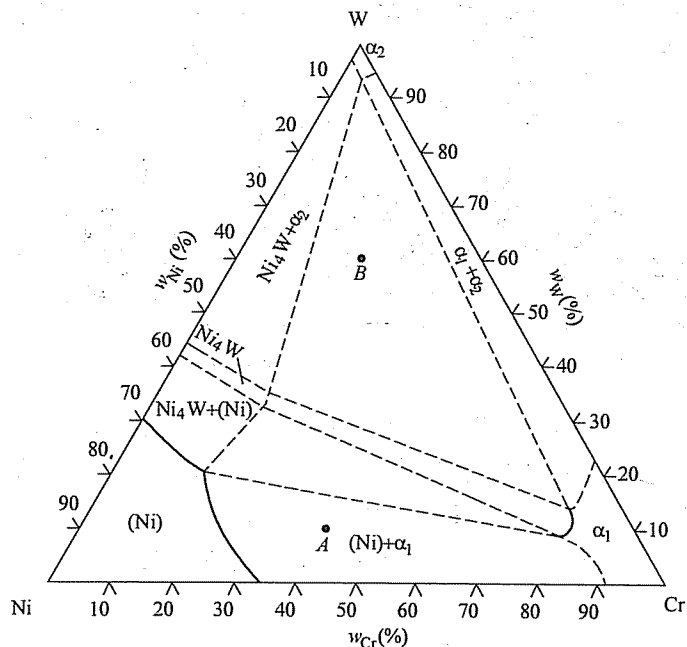


图 25-5 第五题图

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)  $\frac{\sqrt{2}}{2}a_0$ 。

(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  $[\bar{1}\bar{1}2]$  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)  $[\bar{1}\bar{1}1]$  不能开动; 在  $[\bar{1}\bar{1}2]$  方向拉伸时,  $[\bar{1}\bar{1}2] \cdot [101] = 0$ , 故滑移系 (101)  $[\bar{1}\bar{1}1]$  不能开动; 在  $[123]$  方向拉伸时,  $[123] \cdot [101] \neq 0$ ,  $[123] \cdot [\bar{1}\bar{1}1] \neq 0$ , 故滑移系 (101)  $[\bar{1}\bar{1}1]$  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 (101)  $[\bar{1}\bar{1}1]$ 。

(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:

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

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。

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

3. AB 段:  $\tau b$ ,  $-y$  方向。

BC 段: 不受力。

CD 段:  $\tau b$ ,  $y$  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。

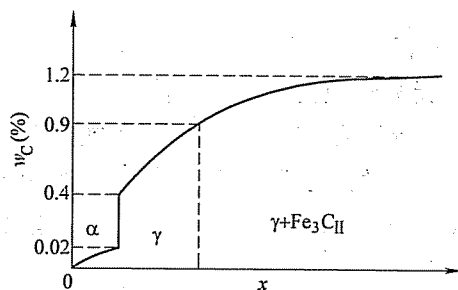


图 25-6 第三题第 3 小题解答图

4. a):  $w_{\text{C}} \approx 0.2\%$

b):  $w_{\text{C}} \approx 0.4\%$

c):  $w_{\text{C}} \approx 0.77\%$

d):  $w_{\text{C}} \approx 1.2\%$

四、

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

$$C_s = 30\%$$

$$C_0 = 20\%$$

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

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

2. 如图 25-7 所示。

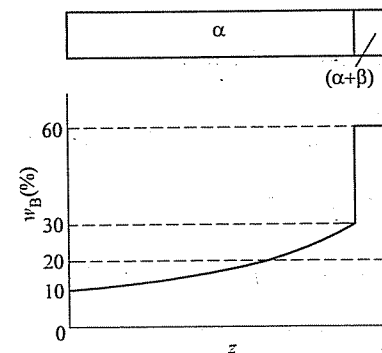


图 25-7 第四题第 2 小题解答图

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:

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

$$\text{得 } \overline{w_B} = 15\%$$

解法三: 应用杠杆定理, 可得如图 25-8 所示的杠杆。

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

$$\text{得 } \overline{w_B} = 15\%$$

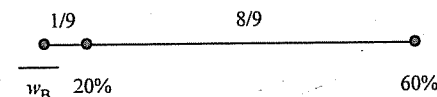


图 25-8 第四题第 3 小题解法三解答图

解法四: 根据溶质原子质量守恒, 可得如下方程式:

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

$$\text{得 } \overline{w_B} = 15\%$$

4. 该棒单相  $\alpha$  固溶体段不会生长成树枝晶。该棒为定向凝固, 固液界面

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) +  $\alpha_1$ 。

各相的成分: 如图 25-9 所示, (Ni) 的成分为  $a$  点;  $\alpha_1$  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,  $\alpha_1$  的成分为  $e$  点;  $\alpha_2$  的成分为  $c$  点;  $\text{Ni}_4\text{W}$  的成分为  $d$  点。

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

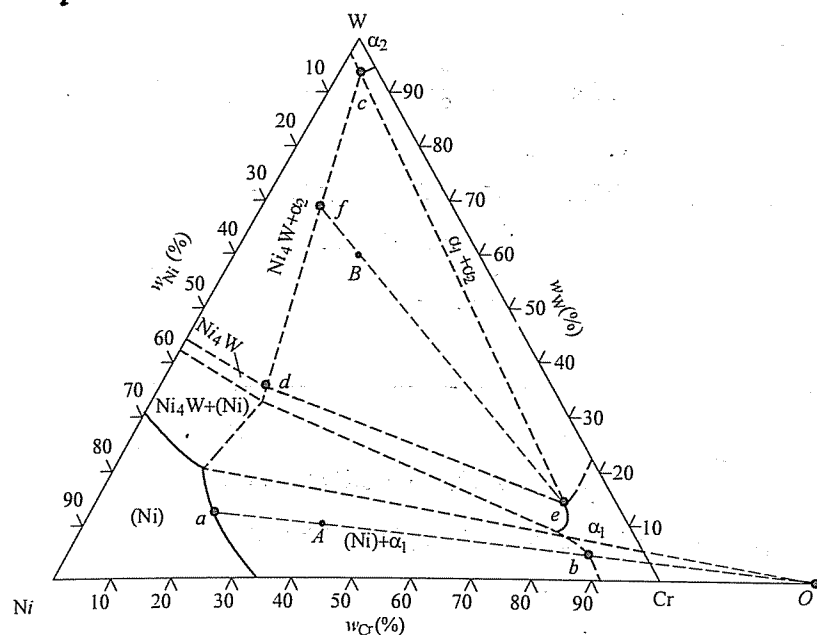


图 25-9 第五题解答图

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

$$w_{\text{Ni}_4\text{W}} = \frac{Be}{ef} \times \frac{cf}{dc} \times 100\%$$

### 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)

- (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。
- (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。
- (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  $h_3 = h_1 + h_2$ ,  $k_3 = k_1 + k_2$ ,  $l_3 = l_1 + l_2$ 。

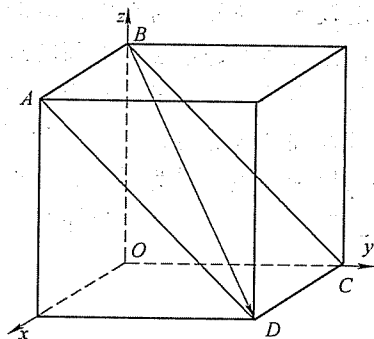


图 26-1 第一题第 1 小题图

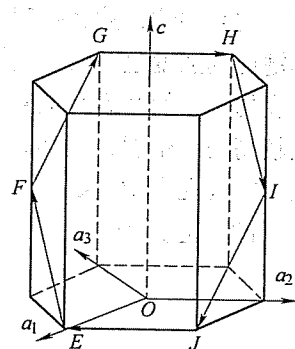


图 26-2 第一题第 2 小题图

### 二、(每小题 5 分, 共 30 分) 针对铁-碳合金回答下列问题:

- 画出  $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$  平衡相图, 并填写各相区的平衡相。
- $\gamma\text{-Fe}$  在  $912^\circ\text{C}$  时转变为  $\alpha\text{-Fe}$ 。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?
- 已知  $727^\circ\text{C}$  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。
- 已知低碳钢常在  $920^\circ\text{C}$  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  $920^\circ\text{C}$  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  $0.12\text{mm}$ , 若要求渗碳层深度达到  $0.48\text{mm}$ , 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  $\sigma_s$ 。

- (6 分) 写出晶体的始滑移系及其可能的交滑移系。
- (6 分) 计算晶体开始滑移的临界分切应力  $\tau_c$ 。
- (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。
- (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。

- (8 分) 分析  $O$  合金的平衡结晶过程。
- (6 分) 写出室温时的相组成物和组织组成物。
- (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。

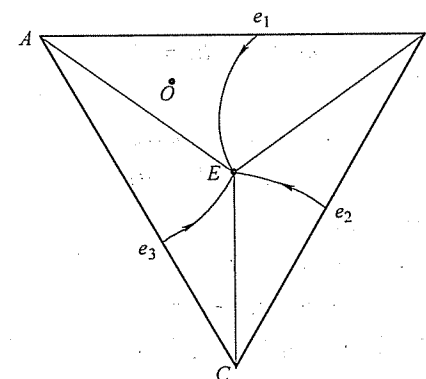


图 26-3 第四题图

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  $\Delta G^*$  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;  $\sigma$  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: (1012)  $EF$  晶向:  $[\bar{2}243]$
3. 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  $[uvw]$ 。

$$\text{根据晶带定理} \quad hu + kv + lw = 0 \quad (26-1)$$

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  $\gamma$ -Fe 是面心立方结构,  $\alpha$ -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  $\gamma$ -Fe 的晶胞, 或两个  $\alpha$ -Fe 的晶胞。设  $\gamma$ -Fe 的晶胞边长为  $a$ ,  $\alpha$ -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。

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

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。

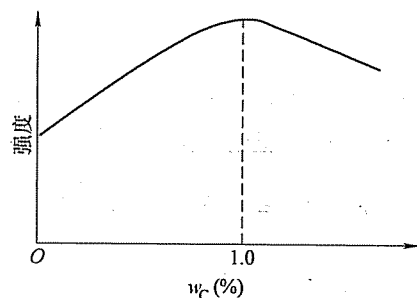


图 26-4 第二题第 6 小题解答图

## 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 (011)  $[\bar{1}11]$ 。

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

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

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  $A_{初}$ ；随温度降低， $A_{初}$  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  $(A+B)_{共晶}$ ，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， $(A+B)_{共晶}$  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  $(A+B+C)_{共晶}$ ，直至室温不再发生变化。

2. 室温时的相组成为： $A+B+C$ 。

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

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

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

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

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

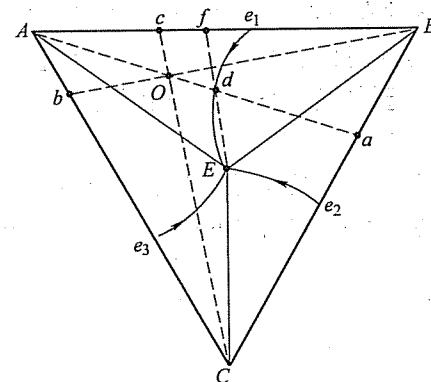


图 26-5 第四题解答图



## 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  $\Delta G_v$ ，晶核表面积为  $A$ ，晶核的体积为  $V$ ，则形核时自由能变化  $\Delta G$  为

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

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  $\Delta G^*$  为

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

而临界表面形核能为

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

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

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； $\frac{-mC_0(1-k_0)}{k_0} = \Delta T_f$ ， $\Delta T_f$  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  $\Delta T_f$  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  $EFGHIJ$  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。

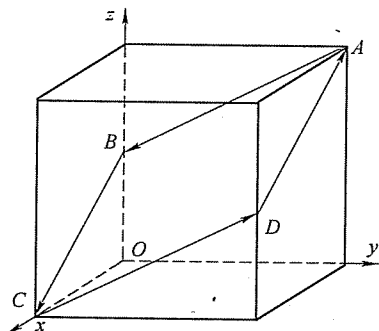


图 27-1 第二题第 1 小题图

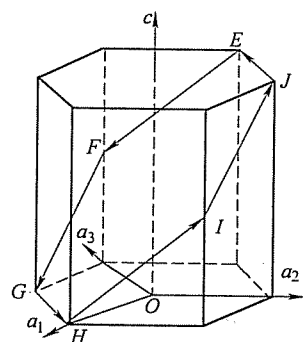


图 27-2 第二题第 2 小题图

三、(共 20 分) 如图 27-3 所示, 四方形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  $\tau$ , 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  $\tau$  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。

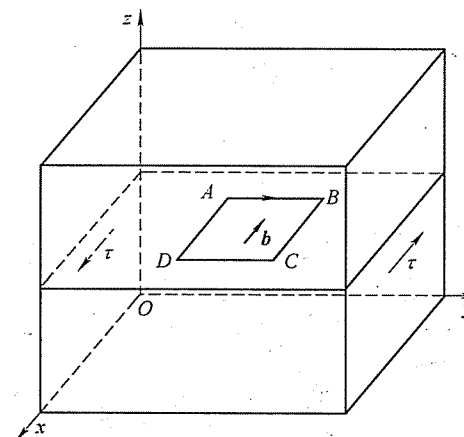


图 27-3 第三题图

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  $\sigma$  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  $\tau_c$ , 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。

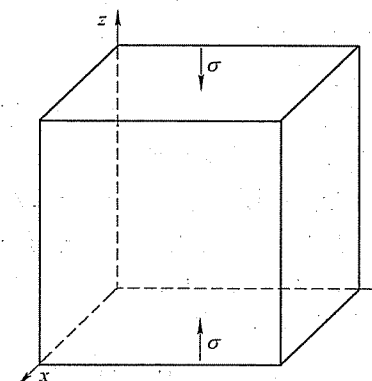


图 27-4 第四题图

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)。

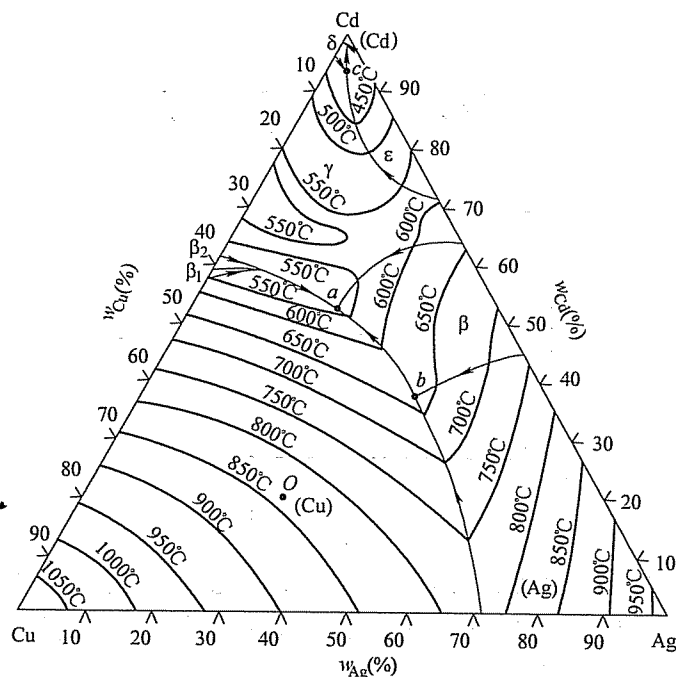


图27-5 第五题图

六、(共20分) 回答下列问题

1. (6分) 画出Fe-Fe<sub>3</sub>C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。

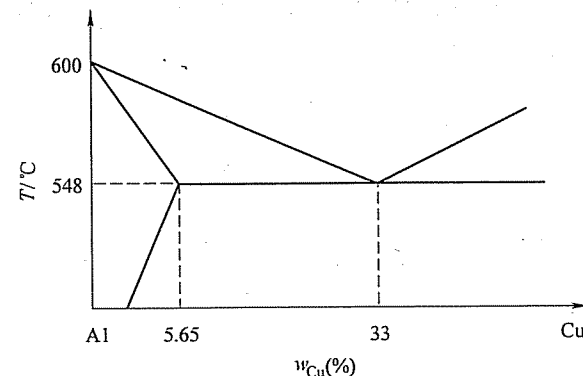


图27-6 第七题第1小题目

## 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. ABCDA 面:  $(1\bar{1}2)$  AB 晶向:  $[0\bar{2}1]$  BC 晶向:  $[201]$   
CD 晶向:  $[021]$  DA 晶向:  $[\bar{2}01]$
2. EFGHIJE 面:  $(1102)$   
EF 晶向:  $[2423]$  FG 晶向:  $[4\bar{2}2\bar{3}]$  GH 晶向:  $[1120]$   
HI 晶向:  $[2423]$  IJ 晶向:  $[4223]$  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:  $\tau b$ ,  $-z$  方向  
CD: 无作用力 DA:  $\tau b$ ,  $z$  方向

5. 由于 BC 段受力向下运动, 而 B、C 点不动, 故 BC 段在运动中发生弯曲, 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。

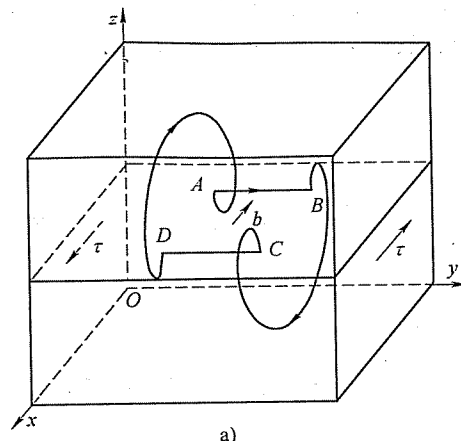
四、

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  $\tau = \sigma \cos\phi \cos\lambda$ , 施密特因子  $\cos\phi \cos\lambda$  最大的滑移系为始滑移系。结果如下:

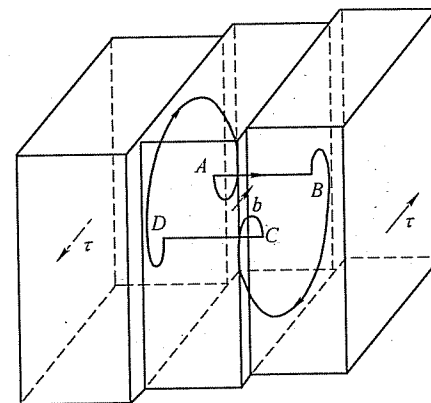
$$\begin{array}{cccc} (101) [\bar{1}11] & (011) [\bar{1}11] & (0\bar{1}1) [\bar{1}11] & (101) [\bar{1}\bar{1}1] \\ (101) [\bar{1}11] & (0\bar{1}1) [\bar{1}11] & (011) [\bar{1}\bar{1}1] & (101) [\bar{1}11] \end{array}$$

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

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



a)



b)

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:  $\sim 840^\circ\text{C}$ ; 初生相: (Cu)。

2. a 点: 共晶反应

反应温度  $\sim 540^\circ\text{C}$

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

b 点: 包共晶反应

反应温度  $\sim 640^\circ\text{C}$

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

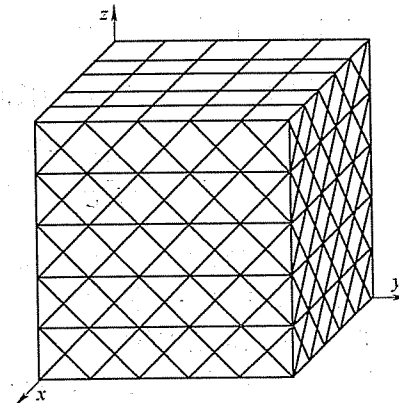


图 27-8 第四题第 3 小题解答图

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。

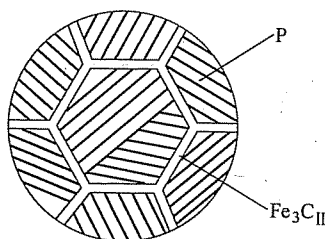


图 27-9 第六题第 3 小题解答图

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

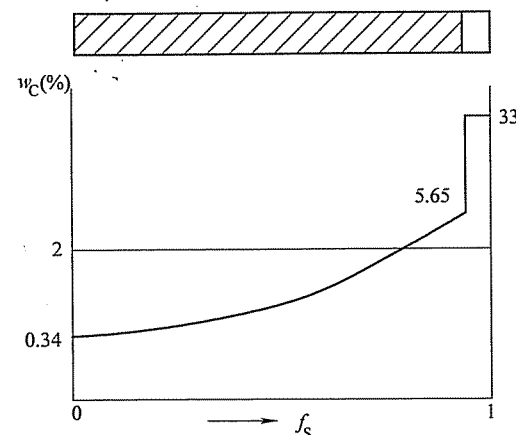


图 27-10 第七题第 1 小题解答图

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。

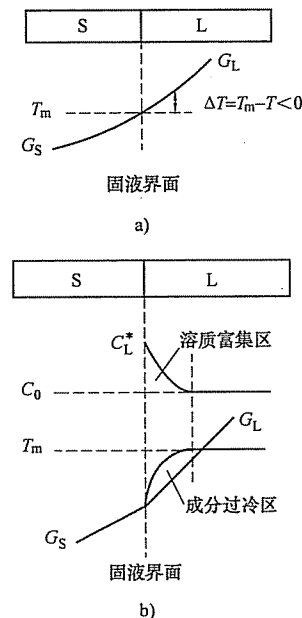


图 27-11 第七题第 2 小题解答图