

材料科学基础考研 试题汇编 2002—2006

主 编	西安交通大学	范群成
	清华大学	田民波
参 编	北京科技大学	杨 平
	北京工业大学	臧竞存
	中南大学	柏振海
	南京工业大学	张其土
	西北工业大学	王永欣
	西安工业大学	严 文
	西安理工大学	白力静



机械工业出版社

本书汇集了国内有一定影响的9所大学最近5年的研究生入学考试真题45套,并给出了由命题人解答的标准答案或参考答案。有些学校考试科目中的专业基础课为“金属学”或“材料物理化学”,鉴于“金属学”目前仍是“材料科学基础”课程中最主要的内容,而“材料物理化学”与“材料科学基础”课程内容基本相同,故本书中编入了一定数量的此类试卷。

本书可作为报考材料科学与工程学科硕士学位研究生的参考书,同时也可供学习“材料科学基础”的本科生使用。

图书在版编目(CIP)数据

材料科学基础考研试题汇编:2002~2006/范群成,
田民波主编.—北京:机械工业出版社,2007.1
ISBN 978-7-111-20740-5

I. 材… II. ①范…②田… III. 材料科学-研究生-入学
考试-试题 IV. TB3-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第005621号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
责任编辑:冯春生 版式设计:张世琴 责任校对:魏俊云
封面设计:张静 责任印制:洪汉军
北京京丰印刷厂印刷
2007年5月第1版·第1次印刷
169mm×239mm·8.875印张·341千字
标准书号:ISBN 978-7-111-20740-5
定价:28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话(010) 88379711

封面无防伪标均为盗版

前 言

“材料科学基础”是材料科学与工程学科的重要专业基础课，被国内大多数院校列为材料科学与工程学科攻读硕士学位研究生入学考试科目（专业基础课）。为了满足广大考生的强烈要求，特编纂《材料科学基础考研试题汇编2002—2006》。

本书汇集了国内有一定影响的9所大学最近5年的研究生入学考试真题45套，并给出了由命题人解答的标准答案或参考答案。有些学校考试科目中的专业基础课为“金属学”或“材料物理化学”，鉴于“金属学”目前仍是“材料科学基础”课程中最主要的内容，而“材料物理化学”与“材料科学基础”课程内容基本相同，故本书中编入了一定数量的此类试卷。

本书由45套完整的原始试卷及其标准答案或参考答案汇集而成，编纂过程中仅作了格式上的统一，未对原试题进行任何修改、取舍及归类，其中某些名词术语、物理量及表述方式上存在不符合最新国家标准之处，但为体现试题原貌均未作统一修改，从而真实地展现了各校试题的不同难度、重点及风采。不同学校的试题中有一定数量的雷同，同一学校不同年度的试题中有一定数量的重复，这恰恰反映出本门课程内容的重点所在。

为本书提供试卷及其答案的有：清华大学田民波教授（试卷一～试卷六），北京科技大学杨平教授（试卷七～试卷十一），北京工业大学臧竞存教授（试卷十二～试卷十六），中南大学柏振海教授（试卷十七～试卷二十一），南京工业大学张其土教授（试卷二十二～试卷二十四），西北工业大学王永欣副教授（试卷二十五～试卷二十九），西安工业大学严文教授（试卷三十～试卷三十四），西安理工大学白力静副教授（试卷三十五～试卷四十），西安交通大学范群成教授（试卷四十一～试卷四十五）。全书由范群成和田民波主编。

本书在编纂过程中，得到了各编者所在单位领导和同事的大力支持及无私帮助，在此深表谢意。

编 者

目 录

前言

清华大学	1
试卷一 2002 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 2003 年攻读硕士学位研究生入学考试试题 (之一)	8
标准答案	9
试卷三 2003 年攻读硕士学位研究生入学考试试题 (之二)	16
标准答案	17
试卷四 2004 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	23
标准答案	25
试卷五 2005 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	33
标准答案	36
试卷六 2006 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	42
标准答案	45
北京科技大学	49
试卷七 2002 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	49
参考答案	50
试卷八 2003 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	53
参考答案	54
试卷九 2004 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	58
参考答案	59
试卷十 2005 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	63
参考答案	67
试卷十一 2006 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	70
参考答案	73

北京工业大学	77
试卷十二 2002 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	77
标准答案	79
试卷十三 2003 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	82
标准答案	84
试卷十四 2004 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	89
标准答案	91
试卷十五 2005 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	95
标准答案	98
试卷十六 2006 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	103
标准答案	105
中南大学	109
试卷十七 2002 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	109
标准答案	110
试卷十八 2003 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	113
标准答案	116
试卷十九 2004 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	119
标准答案	120
试卷二十 2005 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	123
标准答案	125
试卷二十一 2006 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	129
标准答案	130
南京工业大学	133
试卷二十二 2003 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	133
标准答案	135
试卷二十三 2004 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	138
标准答案	141
试卷二十四 2005 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	144
标准答案	147
西北工业大学	151
试卷二十五 2002 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	151

VI 材料科学基础考研试题汇编2002—2006

标准答案	153
试卷二十六 2003 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	157
标准答案	159
试卷二十七 2004 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	162
标准答案	164
试卷二十八 2005 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	166
标准答案	167
试卷二十九 2006 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	172
标准答案	173

西安工业大学 176

试卷三十 2002 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	176
标准答案	177
试卷三十一 2003 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	183
标准答案	184
试卷三十二 2004 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	189
标准答案	190
试卷三十三 2005 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	194
标准答案	195
试卷三十四 2006 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	199
标准答案	200

西安理工大学 205

试卷三十五 2002 年攻读硕士学位研究生入学考试试题 (一)	205
标准答案	206
试卷三十六 2002 年攻读硕士学位研究生入学考试试题 (二)	211
标准答案	213
试卷三十七 2003 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	217
标准答案	218
试卷三十八 2004 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	223
标准答案	226
试卷三十九 2005 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	231
标准答案	233
试卷四十 2006 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	237
标准答案	239

西安交通大学	243
试卷四十一 2002 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	243
标准答案	245
试卷四十二 2003 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	250
标准答案	253
试卷四十三 2004 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	257
标准答案	260
试卷四十四 2005 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	265
标准答案	266
试卷四十五 2006 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	270
标准答案	271

清华大学

试 卷 一

2002 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料学、材料物理化学

一、(10 分) 已知面心立方合金 α -黄铜的轧制织构为 $\{110\} \langle 112 \rangle$ 。

1. 解释这种织构所表达的意义。

2. 用立方晶体 001 标准投影图说明其形成原因。

二、(5 分) 证明：对立方晶系，有 $[hkl] \perp (hkl)$ 。

三、(5 分) 二维点阵共有几种？指出其类型并用图表示。

四、(10 分) 以 BaTiO_3 为例，画出钙钛矿的晶体结构，并解释这类结构材料的介电常数较高和可能具有超导性的原因。

五、(10 分) 面心立方金属单晶体沿 $[001]$ 拉伸可有几个等效滑移系同时启动？沿 $[111]$ 拉伸可有几个等效滑移系同时启动？并具体写出各滑移系的指数。

六、(15 分) 按下列 5 条汇总 FCC 晶体中的主要位错：

①位错名称；②柏式矢量；③位错性质（刃型、螺型、混合位错等）；

④位错形成方式；⑤运动状态（滑移、攀移、还是不动等）。

七、(10 分) 何谓合金扩散过程中的克根达耳效应（Kirkendall effect），克根达耳实验结果给人们哪些启示？指出其在实践中的意义。

八、(15 分)

1. 解释冷变形金属加热时回复、再结晶及晶粒长大的过程及特点。

2. 已知 Cu-30\%Zn 合金的再结晶激活能为 250kJ/mol ，此合金在 400°C 的恒温下完成再结晶需要 1 小时，试求此合金在 390°C 的恒温下完成再结晶需要多少小时。

九、(10 分) 合金由基体 α 和第二相 β 组成，若 β 相分布在晶界， β 和 α 相不共格，试分析因界面能 $\gamma_{\alpha\beta}$ 的不同， β 相可能的组织形态。

十、(10分) 画出 Cu-Al 合金在时效处理过程中硬度随时间的变化曲线, 并用位错理论加以解释。

标准答案

一、

1. 为板织构。 $\{110\} \langle 112 \rangle$ 织构表示 $\{110\} //$ 轧面, $\langle 112 \rangle //$ 轧向。

2. α -黄铜为 FCC 结构, 滑移系统为 $\{111\} \langle 10\bar{1} \rangle$ 。沿轧向受到拉力的作用, 晶体滑移转动。如图 1-1 所示, 在晶体学坐标系中, 设拉力轴 T_1 位于 001 - 101 - 111 取向三角形中, 则始滑移系为 $(\bar{1}\bar{1}1)[011]$, 拉力轴转向 $[011]$ 方向, 使拉力轴与滑移方向的夹角 λ 减小。当力轴到达两个取向三角形的公共边, 即 T_2 时, 开始发生双滑移, 滑移系 $(\bar{1}\bar{1}1)[101]$ 也启动, 拉力轴既转向 $[011]$ 方向, 又转向 $[101]$ 方向, 结果沿公共边转动。到达 $[112]$ 方向时, 由于 $[101]$ 、 $[112]$ 、 $[011]$ 位于同一个大圆上, 两个 λ 角同时减小到最小值, 故 $[112]$ 为最终稳定位置, 从而使 $\langle 112 \rangle$ 方向趋向于轧向; 在轧面上受到压力作用, 设压力轴 P_1 位于 001 - $0\bar{1}1$ - $\bar{1}\bar{1}1$ 取向三角形中, 则始滑移系为 $(\bar{1}\bar{1}1)[101]$, 压力轴转向 $(\bar{1}\bar{1}1)$ 面, 使压力轴与滑移面的夹角 ϕ 减小。当力轴到达两个取向三角形的公共边, 即 P_2 时, 开始发生双滑移, 滑移系 $(111)[\bar{1}01]$ 也启动, 压力轴既转向 $(\bar{1}\bar{1}1)$ 面, 又转向 (111) 面, 结果沿公共边转动。到达 $(0\bar{1}1)$ 面时, 由于 $(\bar{1}\bar{1}1)$ 、 $(0\bar{1}1)$ 、 (111) 位于同一大圆上, 两个 ϕ 角同时减小到最小值, 故 $(0\bar{1}1)$ 为最终稳定位置, 从而使 $(0\bar{1}1)$ 面趋于平行于轧面。其结果, $\{110\} //$ 轧面, $\langle 112 \rangle //$ 轧向。

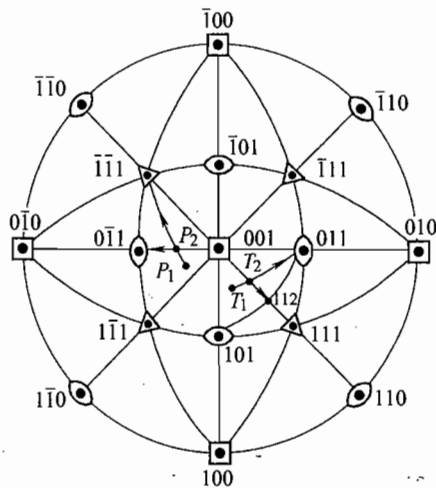


图 1-1 第一题第 2 小题解答图

二、根据晶面指数的确定规则并参照图 1-2, (hkl) 晶面 ABC 在 a 、 b 、 c 坐标轴上的截距分别是 $\frac{a}{h}$ 、 $\frac{b}{k}$ 、 $\frac{c}{l}$, $AB = -\frac{a}{h} + \frac{b}{k}$,

$AC = -\frac{a}{h} + \frac{c}{l}$, $BC = -\frac{b}{k} + \frac{c}{l}$; 根据晶向指数的确定规则, $[hkl]$ 晶向 $L = ha + kb + lc$ 。

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

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

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

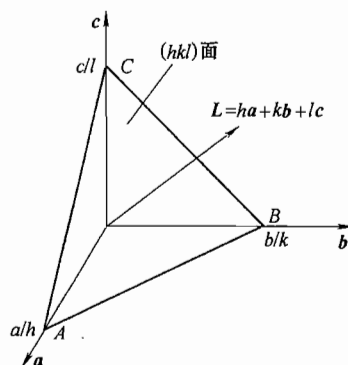
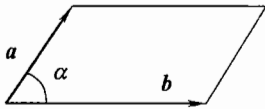
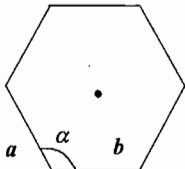


图 1-2 第二题解答图

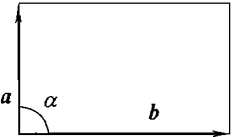
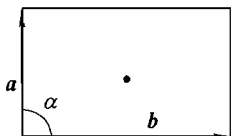
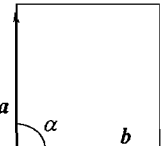
由于 L 与 ABC 面上相交的两条直线垂直, 所以 L 垂直于 ABC 面, 从而在立方晶系中有 $[hkl] \perp (hkl)$ 。

三、二维点阵有 5 种, 分别是斜方、六角、长方、体心长方、正方, 如表 1-1 所示。

表 1-1 第三题解答表

晶系类型	点阵类型	晶体学晶胞形状	点阵常数间的关系和特点
斜方	斜方		$ a \neq b , \alpha \neq \frac{\pi}{2}$
六角	六角		$ a = b , \alpha = \frac{2\pi}{3}$

(续)

晶系类型	点阵类型	晶体学晶胞形状	点阵常数间的关系和特点
长方	长方		$ a \neq b , \alpha = \frac{\pi}{2}$
	体心长方		
正方	正方		$ a = b , \alpha = \frac{\pi}{2}$

四、钙钛矿 (BaTiO_3) 的晶体结构如图 1-3 所示。

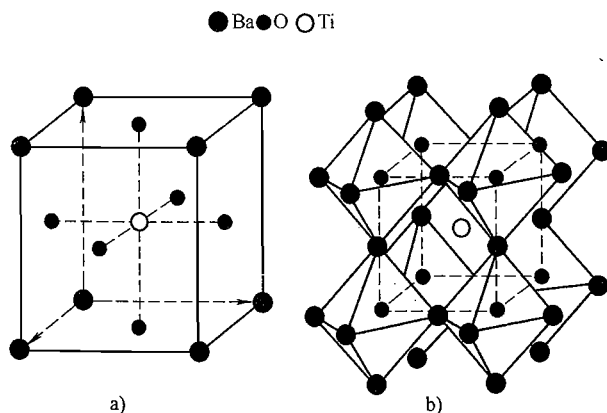


图 1-3 第四题解答图

这类结构材料介电常数较大的原因是因为位于氧原子八面体间隙中的金属原子半径较小, 在交流电场作用下可以来回振动。

可能具有超导性的原因是氧原子和金属原子的层状结构, 以 ABO_3 为例, 一层为 A 和 O 的原子层, 一层为 B 和 O 的原子层, 交替堆垛, 超导载流子易于在层内运动。

五、根据“映象规则”, 利用立方晶体的 001 标准投影, 可知当 FCC 结构的晶体沿 $[001]$ 轴拉伸时, 其等效滑移系共有 8 个, 分别是: $(111)[\bar{0}11]$ 、

(111) $[\bar{1}01]$ 、 $(\bar{1}\bar{1}1)[0\bar{1}1]$ 、 $(\bar{1}\bar{1}1)[101]$ 、 $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})[101]$ 、 $[\bar{1}\bar{1}\bar{1}][011]$ 、 $(\bar{1}\bar{1}1)[\bar{1}01]$ 、 $(\bar{1}\bar{1}1)[011]$ 。当 FCC 结构的晶体沿 $[111]$ 方向拉伸时,其等效滑移系有 6 个,分别是: $(\bar{1}\bar{1}1)[011]$ 、 $(\bar{1}\bar{1}1)[110]$ 、 $(11\bar{1})[011]$ 、 $(11\bar{1})[101]$ 、 $(\bar{1}\bar{1}1)[101]$ 、 $(\bar{1}\bar{1}1)[110]$ 。

六、见表 1-2。

表 1-2 第六题解答表

位错名称	柏式矢量	位错性质	位错形成方式	运动状态
全位错(在实际晶体中比较少见)	$\frac{1}{2} \langle 110 \rangle$	螺型、刃型、混合型	局部滑移或者局部位移	可以滑移或攀移
Shockley 分位错	$\frac{1}{6} \langle 112 \rangle$	螺型、刃型、混合型	只能通过晶体的局部滑移形成	即使是刃型分位错,也只能滑移不能攀移。即使是螺型分位错,也不能交滑移
扩展位错中的 Shockley 分位错	$\frac{1}{6} [112]$ $\frac{1}{6} [\bar{1}\bar{2}1]$	螺型、刃型、混合型	由全位错分解成的两条平行的 Shockley 分位错,之间是一个层错区	只能滑移。仅在束集之后可以攀移或者交滑移
Frank 分位错	$\frac{1}{3} \langle 111 \rangle$	刃型	相当于在晶体中的局部区域插入一层或抽去一层 $\{111\}$ 密排面而形成	只能攀移,不能滑移
L-C 不动位错(有多种组态)	例如 $\frac{1}{6} [\bar{1}10]$	螺型、刃型、混合型	通过 Shockley 分位错合成(或位错反应)得到的	不能运动

七、克根达耳效应:如图 1-4 所示,在 FCC 结构的 α -黄铜 (Cu + 30% Zn) 棒上敷上很细的钼丝作为标记,再在黄铜上镀铜,将钼丝包在黄铜与铜之间,在一定温度下进行扩散。其中钼丝仅作为标志物,在整个实验过程中不参加扩散。扩散组元是铜和锌,二者构成置换式固溶体。在置换式固溶体的扩散过程中,放置在原始界面上的标志物朝着低熔点元素的方向移动,移动距离与时间呈抛物线关系。造成这种现象的原因是:低熔点组元扩散快,高熔点组元扩散慢。这种不等量的原子交换造成克根达耳效应。

克根达耳效应的实际意义有:①揭示了扩散宏观规律与微观扩散机制的内在联系,具有普遍性;②直接否认了置换式固溶体扩散的换位机制,支持了空位机制;③扩散系统中每一种组元都有自己的扩散系数;④克

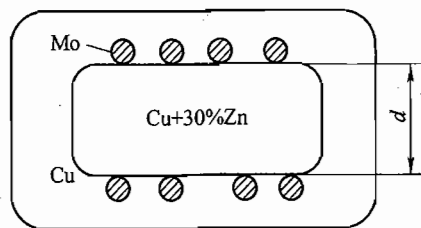


图 1-4 第七题解答图

根达耳现象往往会产生副效应,如收缩不完全会造成克根达耳孔等,这些副效应在实际当中往往产生不利的影响,因而应设法加以控制。

八、

1. 冷变形金属加热时,先后发生回复、再结晶、晶粒长大三个过程,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,点阵畸变(三类应力)清除,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,如再结晶织构。

$$\begin{aligned}
 2. \text{ 由公式有 } \frac{t_2}{t_1} &= \exp \left[-\frac{Q}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \right] \\
 &= \exp \left[-\frac{250 \times 10^3}{8.314} \times \left(\frac{1}{400 + 273} - \frac{1}{390 + 273} \right) \right] \\
 &= 1.962
 \end{aligned}$$

所以 $t_2 = t_1 \times 1.962 = 1.962h$

九、合金由基体 α 和第二相 β 组成,若 β 相分布在晶界, β 和 α 相不共格,其形貌取决于两个 α 晶粒间的夹角(两面角、接触角),在界面张力间存在图 1-5a 所示的平衡关系,即:

$$\gamma_{\alpha\alpha} = 2\gamma_{\alpha\beta} \cos \frac{\theta}{2}$$

式中, $\gamma_{\alpha\alpha}$ 为 α 相的界面张力; $\gamma_{\alpha\beta}$ 为两相间的界面张力; θ 为两面角,决定于界面张力的比值 $\gamma_{\alpha\alpha}/\gamma_{\alpha\beta}$ 。

- (1) 当 $\gamma_{\alpha\beta} = \gamma_{\alpha\beta}$, $\theta = 120^\circ$, 第二相形状如图 1-5b 所示。
 (2) 当 $\gamma_{\alpha\beta} \gg \gamma_{\alpha\alpha}$, $\theta = 180^\circ$, 第二相形状如图 1-5c 所示。
 (3) 当 $\gamma_{\alpha\beta} \approx \frac{1}{2}\gamma_{\alpha\alpha}$, $\theta = 0^\circ$, 第二相形状如图 1-5d 所示。

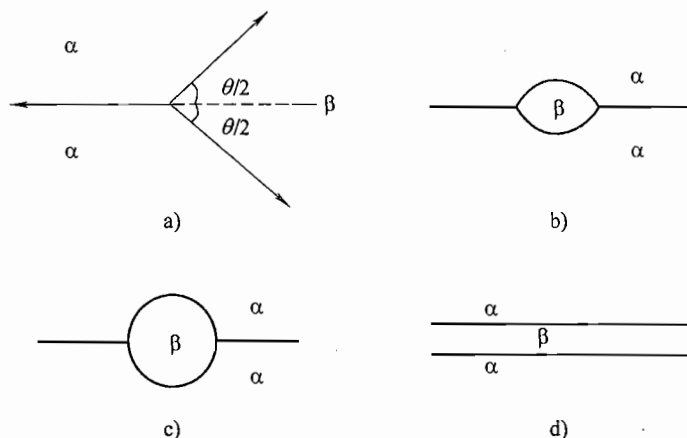


图 1-5 第九题解答图

十、Cu-Al 合金在时效处理过程中硬度随时间的变化曲线如图 1-6 所示。

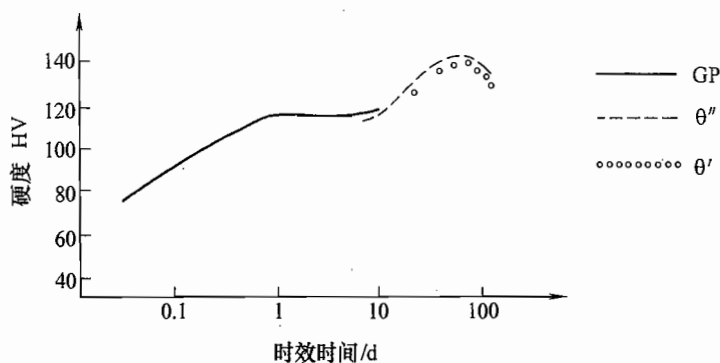


图 1-6 第十题解答图

由于原子偏聚或形成有序化区域, 产生共格变形的晶格畸变。位错线切过析出物, 会增加界面能、反相畴界面能、再加上位错线与高密度析出物的长程相互作用, 使材料强度增加。变化曲线中第一个峰形 [GP 区 (GPI) 和过渡相 θ'' (GPII)] 就是这个原因的结果。

位错线与析出物的长程相互作用, 位错线绕过析出物, 从而使材料强化。随着析出物粗化, 这种强化作用减弱。变化曲线中第二个峰形 [过渡相 (θ')] 就是这个原因的结果。

试 卷 二

2003 年攻读硕士学位研究生入学 考试试题（之一）

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料学、材料物理化学

一、(10 分) 简述单晶体塑性形变的施密特定律 (Schmid' s law)，画图并写出表达式，说明每一个量所代表的物理意义。

二、(15 分) 参照所示的 Cu-Zn 相图 (图 2-1)，有一铜棒较长时间置于 400℃ 的 Zn 液中，请画出从铜棒表面到内部沿深度方向的：

1. Zn 的浓度分布。
2. 相分布。
3. 化学位分布。

三、(10 分) 写出面心立方 (FCC) 晶体中全位错分解为扩展位错的反应式，

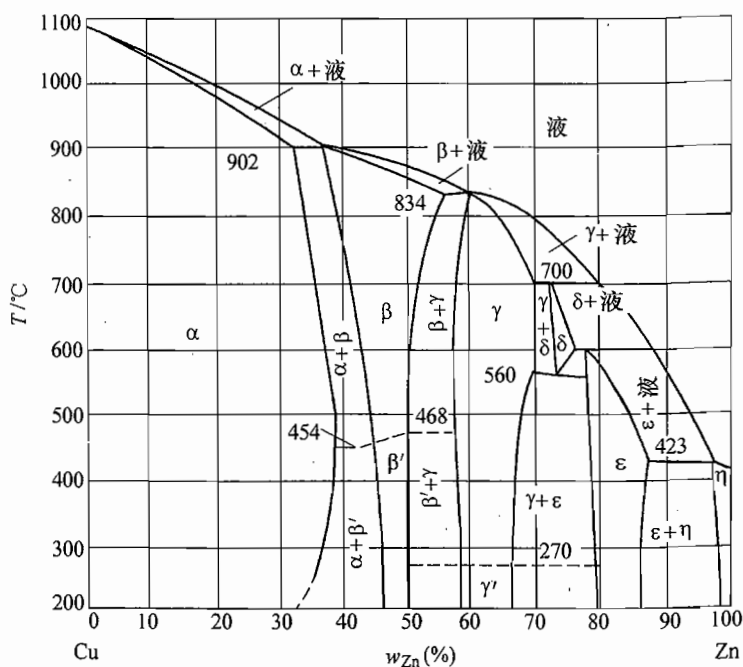


图 2-1 第二题图

并分析反应的可能性。

四、(10分) 画出 Al-4.0% Cu 合金在时效处理 ($\approx 130^\circ\text{C}$) 中硬度随处理时间变化的曲线, 并解释原因。

五、(10分) 指出合金强化的四种主要机制, 解释强化原因。

六、(12分) 画出下列晶胞 (unit cell) 图:

1. 金刚石 (C)。
2. 纤锌矿 (ZnO)。
3. 钙钛矿 (BaTiO_3)。
4. 方石英 (SiO_2)。

七、(8分) 解释典型铸锭组织的形成原因。

八、(10分) 针对 FCC、BCC 和 HCP 晶胞:

1. 分别在晶胞图上画出任一个四面体间隙的位置。
2. 指出该四面体间隙的中心坐标。
3. 写出每种晶胞中四面体间隙数量。

九、(15分) 利用相律辨别图 2-2 中诸相图是否正确, 并说明原因。

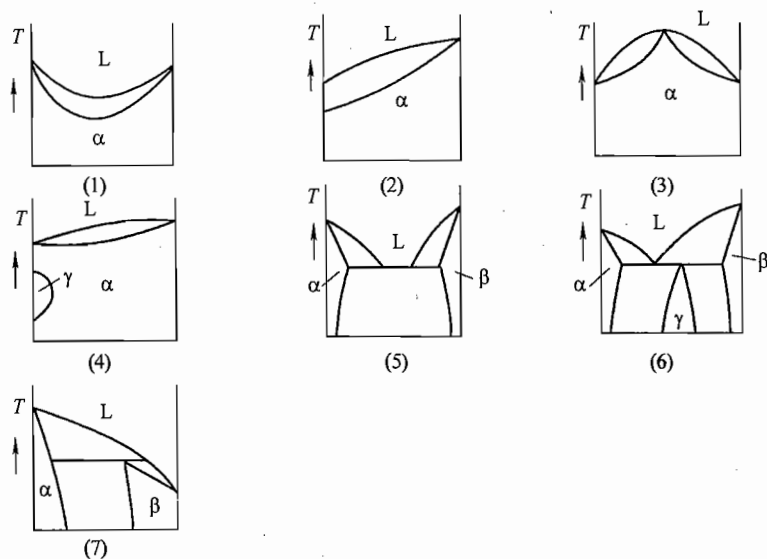


图 2-2 第九题图

标准答案

一、用一根正断面积为 A_0 的单晶试棒进行拉伸试验, 如图 2-3 所示。假定

拉力 F 与滑移面法线 n 之间的夹角为 ϕ , F 与滑移方向 b 之间的夹角为 λ , 则由图 2-3 很容易求得作用在滑移面上的沿着滑移方向的分切应力为:

$$\tau = \frac{F \cos \lambda}{\left(\frac{A_0}{\cos \phi} \right)} = \frac{F}{A_0} \cos \lambda \cos \phi = \sigma \cos \lambda \cos \phi = \lambda \mu$$

式中, $\sigma = \frac{F}{A_0}$ 为拉应力; $\mu = \cos \lambda \cos \phi$, 称为取向因子或者 Schmid 因子。

用同种材料但不同取向 (不同 μ 值) 的单晶试棒进行拉伸试验, 结果发现, 尽管不同试棒的 μ 不同, 但开始滑移时的分切应力都相同——等于某一确定值 τ_c , 换言之, 晶体开始滑移所需的分切应力是:

$$\tau = \sigma \mu = \tau_c$$

式中, τ_c 称为临界分切应力, 是个材料常数。公式 $\tau = \sigma \mu = \tau_c$ 就称为 Schmid 定律, 即当作用在滑移面上沿着滑移方向的分切应力达到某一临界值 τ_c 时晶体便开始滑移。

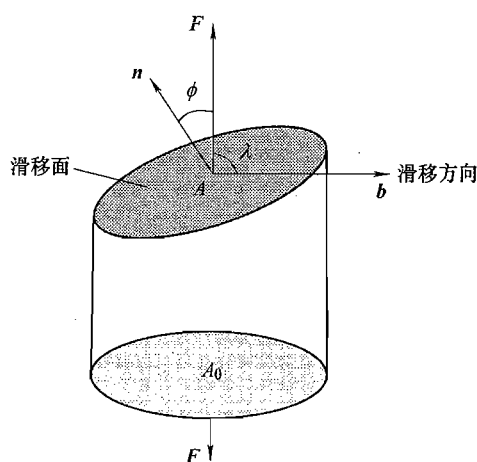


图 2-3 第一题解答图

二、见图 2-4。

三、以 $(11\bar{1})$ 面为例, 其上全位错分解为扩展位错的反应式有以下三种:

$$(1) \frac{1}{2}[110] \rightarrow \frac{1}{6}[121] + \frac{1}{6}[21\bar{1}]$$

$$\text{几何条件: } \frac{1}{2}[110] = \frac{1}{6}[121] + \frac{1}{6}[21\bar{1}]$$

$$\text{能量条件: } \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \right)^2 = \frac{1}{2} > \left[\left(\frac{\sqrt{6}}{6} \right)^2 + \left(\frac{\sqrt{6}}{6} \right)^2 \right] = \frac{1}{3}$$

所以, 符合位错反应几何条件和能量条件的要求, 该位错反应可以进行。

$$(2) \frac{1}{2}[011] \rightarrow \frac{1}{6}[121] + \frac{1}{6}[\bar{1}12]$$

$$\text{几何条件: } \frac{1}{2}[011] = \frac{1}{6}[121] + \frac{1}{6}[\bar{1}12]$$

$$\text{能量条件: } \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \right)^2 = \frac{1}{2} > \left[\left(\frac{\sqrt{6}}{6} \right)^2 + \left(\frac{\sqrt{6}}{6} \right)^2 \right] = \frac{1}{3}$$

所以, 符合位错反应几何条件和能量条件的要求, 该位错反应可以进行。

$$\text{能量条件: } \left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2 = \frac{1}{2} > \left[\left(\frac{\sqrt{6}}{6}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{6}}{6}\right)^2\right] = \frac{1}{3}$$

所以,符合位错反应几何条件和能量条件的要求,该位错反应可以进行。

四、Cu-Al 合金在时效处理过程中硬度随时间的变化曲线示于图 2-5。

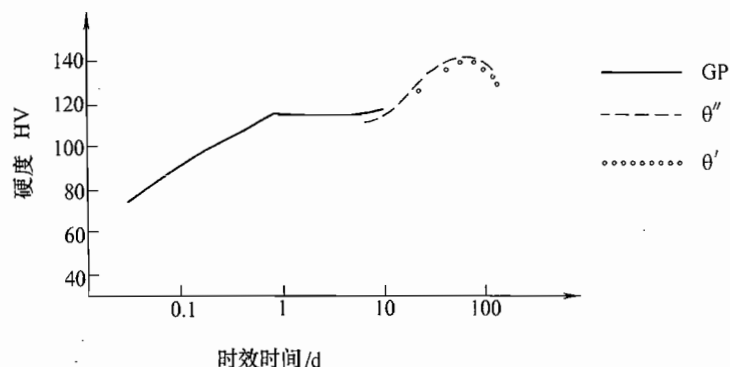


图 2-5 第四题解答图

(1) 由于原子偏聚或形成有序化区域,产生共格变形的晶格畸变。位错线切过析出物,会增加界面能、反相畴界能、再加上位错线与高密度析出物的长程相互作用,使材料强度增加。变化曲线中第一个峰形(GP 区(GPI)和过渡相 θ'' (GPII))就是这个原因的结果。

(2) 析出物的形貌由片状最后到球状,且持续粗化。位错线与析出物的长程相互作用,位错线绕过析出物,从而使材料强化。随着析出物粗化,这种强化作用减弱。变化曲线中第二个峰形(过渡相(θ'))就是这个原因的结果。

五、

(1) 固溶强化

固溶在点阵间隙或结点上的合金元素原子由于其尺寸不同于基体原子,故产生一定的应力场,阻碍位错运动;柯氏气团和铃木气团,前者是间隙原子优先分布于 BCC 金属刃型位错的拉应力区,对位错产生钉扎作用,后者是合金元素优先分布于 FCC 金属扩展位错的层错区,降低层错能,扩大层错区,使扩展位错滑移更加困难。

(2) 沉淀强化和弥散强化

合金通过相变过程得到的合金元素与基体元素的化合物和机械混掺于基体材料中的硬质颗粒都会引起合金强化,分别称之为沉淀强化和弥散强化。沉淀强化和弥散强化的效果远大于固溶强化。位错在运动过程中遇到第二相时,需要切过(沉淀强化的小尺寸颗粒和弥散强化的颗粒)或者绕过(沉淀强化的大尺寸颗粒)第二相,因而第二相(沉淀相和弥散相)阻碍了位错运动。

(3) 晶界强化

按照 Hall-Petch 公式, 屈服点 σ_s 同晶粒直径 d 之间的关系是 $\sigma_s = \sigma_0 + Kd^{-\frac{1}{2}}$, 其实质是位错越过晶界需要附加的应力。因此低温用钢往往采用细晶粒组织。

(4) 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、见图 2-6。

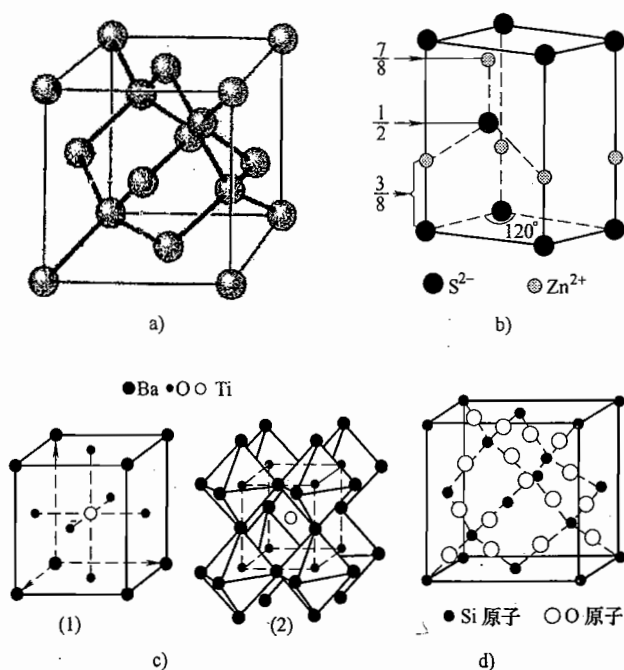


图 2-6 第六题解答图

a) 金刚石 b) 纤锌矿 c) 钙钛矿 d) 方石英

七、典型的铸锭组织由三区组成: 第一区为紧靠模壁表面的细晶区; 第二区为垂直模壁表面生长的柱状晶区; 第三区为铸锭中部的等轴晶区。

(1) 表面细晶区

该区形核核心多、冷却速度快、过冷度大, 以树枝状向各个不同方向长大, 因而形成细小、等轴晶体。由于细晶区结晶很快, 放出的结晶潜热来不及散失, 而使液-固界面的温度急剧升高, 使细晶区很快便停止了发展, 得到一层很薄的细晶区壳层。

(2) 柱晶区

细晶区形成后,模壁温度升高,散热减慢,液体冷速降低,过冷度减小,不再生核,细晶区中生长速度快的晶体可沿垂直模壁的散热反方向发展,其侧向生长因相互干扰而受阻,因而形成一级主轴发达的柱状晶。

(3) 中心等轴晶区

中心等轴晶区形成于晶核在均匀散热的中心液体中的无方向性生长。其晶核来自于两个途径:一是外来晶核,包括脱落的表面晶粒、熔断的枝晶等;二是内生晶核,包括在中心区域过冷液体中均匀和非均匀形核。

八、

1. FCC、BCC 和 HCP 晶胞中一个四面体间隙的位置分别如图 2-7a、b 和 c 所示。

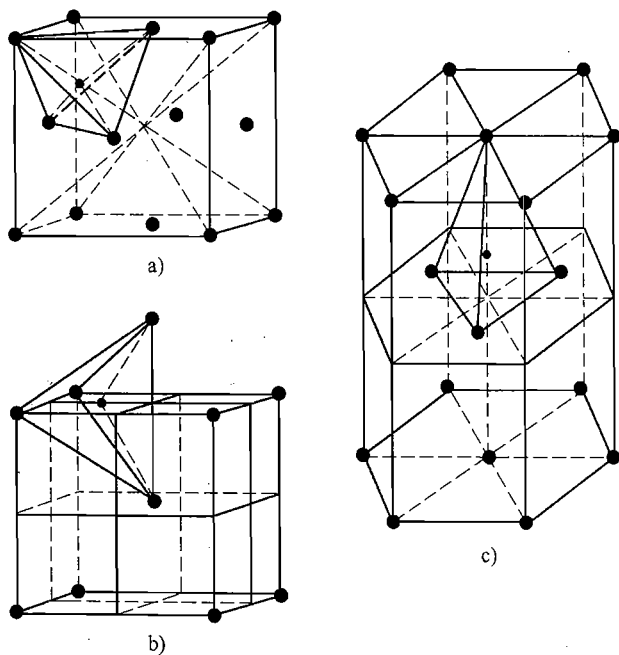


图 2-7 第八题第 1 小题解答图

2. 各四面体间隙的中心坐标:

FCC 晶体中: $\left(\frac{3}{4}, \frac{1}{4}, \frac{3}{4}\right)$ 。

BCC 晶体中: $\left(\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, 1\right)$ 。

HCP 晶体中: $\left(0, 0, \frac{5}{8}\right)$ 。

3. 每种晶胞中四面体间隙数量:

FCC 晶体中: 8 个。

BCC 晶体中: 12 个。

HCP 晶体中: 12 个。

九、

(1) 匀晶相图中某一温度下, 只能是确定成分的液相与确定成分的固相相平衡。不可能在某一温度下, 有两个不同成分的液相(或固相)平衡。

(2) 相图左侧的纯组元在一个温度范围内结晶, 这是违反相律的。

(3) 根据热力学, 所有两相区的边界线不应延伸到单相区, 而应伸向两相区。

(4) γ 与 α 相区间应有两相区, 即相图中违反了“邻区原则”。

(5) 二元系中三相平衡时, 三个相都必须有确定的成分。图中液相 L 的成分是一个范围, 这是错误的。

(6) 二元系中不可能有四相平衡, 即违反了相律。

(7) 包晶水平线以下, α 固溶线走势错误, 即违反了“两相区的边界线不能延伸到单相区, 而应伸向两相区”原则。

试 卷 三

2003 年攻读硕士学位研究生入学 考试试题 (之二)

考试科目: 材料科学基础

适用专业: 材料学、材料物理化学

一、(8 分) 标出图 3-1 中 (a)、(b)、(c)、(d) 的晶向指数和 (E)、(F)、(G)、(H) 的晶面指数。

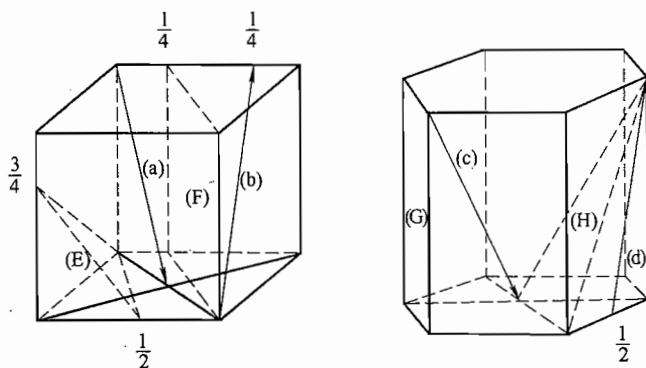


图 3-1 第一题图

二、(5 分) 写出 FCC、BCC、HCP ($c/a > \sqrt{8/3}$) 晶体的密排面、密排面间距、密排方向、密排方向最小单位长度。

三、(5 分) 写出镍 (Ni) 晶体中面间距为 0.1246nm 的晶面族指数。镍的点阵常数为 0.3524nm。

四、(8 分) 由 600℃ 降至 300℃ 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 $k = 8.617 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$)。

五、(10 分) 请导出摩尔分数为 N_A 、 N_B 的二元系中综合扩散系数 D 与分扩散系数 D_A 、 D_B 之间的关系。

六、(10 分) 指出并解释马氏体相变的特征。

七、(10 分) 请分析脱溶分解和调幅分解 (Spinodal 分解) 两种析出方式的差异。

八、(12分) 按下列5条汇总 FCC 晶体中的主要位错:

①位错名称; ②柏式矢量; ③位错性质(刃型、螺型、混合位错等); ④位错形成方式; ⑤运动状态(滑移、攀移、还是不动等)。

九、(12分) 从微观结构说明合金强化的主要机制, 并举出实例。

十、(20分) 画出 Fe-Fe₃C 相图与下列问题相关的部分, 并分析:

1. 2%C 合金平衡状态下结晶过程、室温组织(画示意图), 计算组织相对含量。

2. 2%C 合金快冷, 不平衡状态下结晶过程和组织的变化。

3. 画出在 800℃ 下该合金在平衡状态下的自由能-成分曲线, 并用图解法作出其形核驱动力。

4. 如纯铁在 800℃ 渗碳气氛下长期扩散, 试由 Fe-Fe₃C 相图分析等温扩散后和冷却至室温的组织。

标准答案

一、(a) 的晶向指数是 $[11\bar{2}]$; (b) 的晶向指数是 $[\bar{4}\bar{1}4]$; (c) 的晶向指数是 $[\bar{2}11\bar{3}]$; (d) 的晶向指数是 $[\bar{2}116]$ 。

(E) 的晶面指数是 $(\bar{3}64)$; (F) 的晶面指数是 $(\bar{3}40)$; (G) 的晶面指数是 $(1\bar{1}00)$; (H) 的晶面指数是 $(1\bar{1}01)$ 。

二、见表 3-1。

表 3-1 第二题解答表

晶体结构	密排面	密排面间距	密排方向	密排方向最小单位长度
FCC	$\{111\}$	$\frac{\sqrt{3}}{3}a$	$\langle 110 \rangle$	$\frac{\sqrt{2}}{2}a$
BCC	$\{110\}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}a$	$\langle 111 \rangle$	$\frac{\sqrt{3}}{2}a$
HCP	$\{0001\}$	$\frac{1}{2}c$	$\langle 11\bar{2}0 \rangle$	a

三、镍 (Ni) 的晶体结构和点阵都是面心立方 (FCC), 立方晶体的晶面距公式是:

$$d = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

所以有
$$h^2 + k^2 + l^2 = \frac{a^2}{d^2} = \frac{0.3524^2}{0.1246^2} \approx 8$$

因为 h 、 k 、 l 都是整数, 所以 h 、 k 、 l 可能取的可能值为: 0、2、2, 所以

符合题意的晶面族指数为 $\{022\}$ 。

四、Schottky 缺陷的平衡浓度公式为：

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

有 $\frac{\Delta G_S}{kN_A T} = -\ln \bar{C}_S$

有 $\frac{\Delta G_S}{kN_A} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right) = \ln \bar{C}_{S1} - \ln \bar{C}_{S2}$

有 $\Delta G_S = \frac{\ln \bar{C}_{S1} - \ln \bar{C}_{S2}}{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}} (kN_A)$

$$= \frac{6 \ln 10}{\frac{1}{300 + 273} - \frac{1}{600 + 273}} \times 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\approx 1.91432 \times 10^5 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$$

即 锗晶体中空位形成能为 $1.91432 \times 10^5 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

五、如图 3-2 所示，引入两个平行的坐标系：一个是固定坐标系 xOy ；一个是坐落在晶面上和晶面一起运动的动坐标系 x', O', 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：

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

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

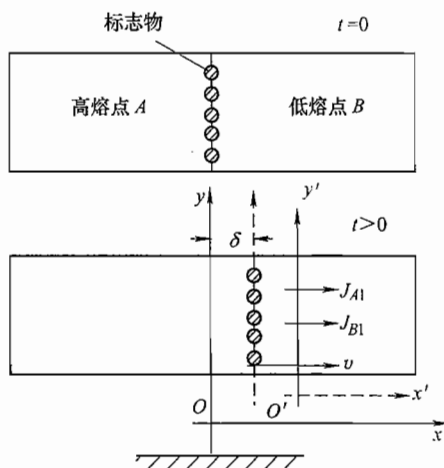


图 3-2 第五题解答图

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：

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

$$J_B = J_{B1} + C_B v = -D_B \frac{\partial C_B}{\partial x} + C_B v = -D \frac{\partial C_B}{\partial x}$$

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。

上两式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

$$N_A D_B + N_B D_A = D$$

式中, N_A 和 N_B 分别是 A 、 B 组元在合金中的摩尔分数。

六、

(1) 无扩散性

相变过程不发生成分变化, 参与转变的所有原子运动协同一致, 相邻原子的相对位置不变, 而且相对位移量小于一个原子间距。

(2) 具有表面浮突和切变共格性

马氏体相变产生均匀切变或称为点阵切变, 造成结构变化, 试样表面出现浮突现象, 马氏体和母相之间的界面为共格界面。

(3) 存在惯习面及其不应变性

马氏体在母相的一定晶面上形成, 此晶面成为惯习面。惯习面是一个无畸变不转动的平面。

(4) 新相和母相之间有严格的取向关系

马氏体和母相之间主要有以下位向关系: ①K-S 关系; ②G-T 关系; ③西山关系。

(5) 马氏体具有内部亚结构

除了点阵切变外, 马氏体相变还要发生点阵不变切变, 依靠滑移或孪生完成, 在马氏体内部形成位错或孪晶亚结构。

(6) 马氏体具有逆转变现象

将马氏体以足够快的速度加热, 马氏体可以不解体而直接转变为高温相。

七、调幅分解是指过饱和固溶体在一定温度下分解成结构相同、成分不同的两个相的过程。调幅分解的主要特征是不需要形核。调幅分解与形核长大型脱溶转变的比较见表 3-2。

表 3-2 第七题解答表

脱溶类型	调幅分解	形核长大
自由能-成分曲线特点	凸	凹
条件	自发涨落(过冷度和 $G'' < 0$)	过冷度和临界形核功
形核特点	非形核	形核
新相的成分结构特点	成分变化, 结构不变	成分、结构均变化
界面特点	宽泛	明晰
扩散方式	上坡	下坡
转变速率	高	低
颗粒大小	数量多, 颗粒小(均匀规则)	数量少, 颗粒大(均匀性差)

八、见表 3-3。

表 3-3 第八题解答表

位错名称	柏式矢量	位错性质	位错形成方式	运动状态
全位错(在实际晶体中比较少见)	$\frac{1}{2} \langle 110 \rangle$	螺型、刃型、混合型	局部滑移或者局部位移	可以滑移或攀移
Shockley 分位错	$\frac{1}{6} \langle 112 \rangle$	螺型、刃型、混合型	只能通过晶体的局部滑移形成	即使是刃型分位错, 也只能滑移不能攀移。即使是螺型分位错, 也不能交滑移
扩展位错中的 Shockley 分位错	$\frac{1}{6} [112]$ $\frac{1}{6} [\bar{1}\bar{2}1]$	螺型、刃型、混合型	由全位错分解成的两条平行的 Shockley 分位错, 之间是一个层错区	只能滑移。仅在束集之后可以攀移或者交滑移
Frank 分位错	$\frac{1}{3} \langle 111 \rangle$	刃型	相当于在晶体中的局部区域插入一层或抽去一层 $\{111\}$ 密排面而形成	只能攀移, 不能滑移
L-C 不动位错(有多种组态)	例如 $\frac{1}{6} [\bar{1}10]$	螺型、刃型、混合型	通过 Shockley 分位错合成(或位错反应)得到的	不能运动

九、

(1) 固溶强化

固溶在点阵间隙或结点上的合金元素原子由于其尺寸不同于基体原子, 故产

生一定的应力场,阻碍位错运动;柯氏气团和铃木气团,前者是间隙原子优先分布于 BCC 金属刃型位错的拉应力区,对位错产生钉扎作用,后者是合金元素优先分布于 FCC 金属扩展位错的层错区,降低层错能,扩大层错区,使扩展位错滑移更加困难。

(2) 沉淀强化和弥散强化

合金通过相变过程得到的合金元素与基体元素的化合物和机械混掺于基体材料中的硬质颗粒都会引起合金强化,分别称之为沉淀强化和弥散强化。沉淀强化和弥散强化的效果远大于固溶强化。位错在运动过程中遇到第二相时,需要切过(沉淀强化的小尺寸颗粒和弥散强化的颗粒)或者绕过(沉淀强化的大尺寸颗粒)第二相,因而第二相(沉淀相和弥散相)阻碍了位错运动。

(3) 晶界强化

按照 Hall-Petch 公式,屈服点 σ_s 同晶粒直径 d 之间的关系是 $\sigma_s = \sigma_0 + kd^{-\frac{1}{2}}$,其实质是位错越过晶界需要附加的应力。因此低温用钢往往采用细晶粒组织。

(4) 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。

例如高强度的镍基超级合金存在着有序的沉淀相 $\text{Ni}_3(\text{Ti}, \text{Al})$, 其强化机制是一般的沉淀强化以及有序强化。

十、Fe-C 相图略。

1. 2% C 合金平衡状态下结晶过程

在高温结晶时不发生包晶反应。

1-2 $\text{L} \rightarrow \gamma$ 。二相成分和相对量都发生变化, L 相沿 BC 线变化, γ 相沿 JE 线变化。L 相减少, γ 相增多, 2 为 γ 相点。

2-3 不发生变化, 仍保持 γ 相。

3-4 γ 相中析出渗碳体, $\gamma \rightarrow \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$, 随 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$ 析出, γ 相沿 ES 变化。

4 $\gamma_s + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$, $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}} = \frac{4S}{SK} \times 100\%$ 。

4-4' $\gamma_s \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$, 形成 P 组织。

4' 以后不发生变化。在室温下组织为 $\text{P} + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$, 即过共析钢

$$\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}} = \frac{(2 - 0.77) \times 10^{-2}}{(6.69 - 0.77) \times 10^{-2}} \times 100\% = 20.78\%$$

即最后室温组织中 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$ 为 20.78%, P 为 79.22%。

室温组织示意于图 3-3。

2. 可能发生共晶反应 $L \rightarrow Ld(\gamma + Fe_3C)$:

① 将有不平衡共晶组织出现, 可能发生共晶反应产生 Ld 。

② 得到的 P 其片层间距将更为细小。

③ 析出 Fe_3C_{II} 的量将减少, 甚至完全抑制了 Fe_3C_{II} 的析出。

3. 见图 3-4。 α 、 γ 和 $\gamma + Fe_3C$ 曲线两两相切。当含 C 为 2% 时, 由直线定则, P 点为 $\gamma + Fe_3C$ 两相的自由能, Q 点为 γ 母相的自由能。对于该合金, 肯定析出 Fe_3C 而不会是析出 α 。

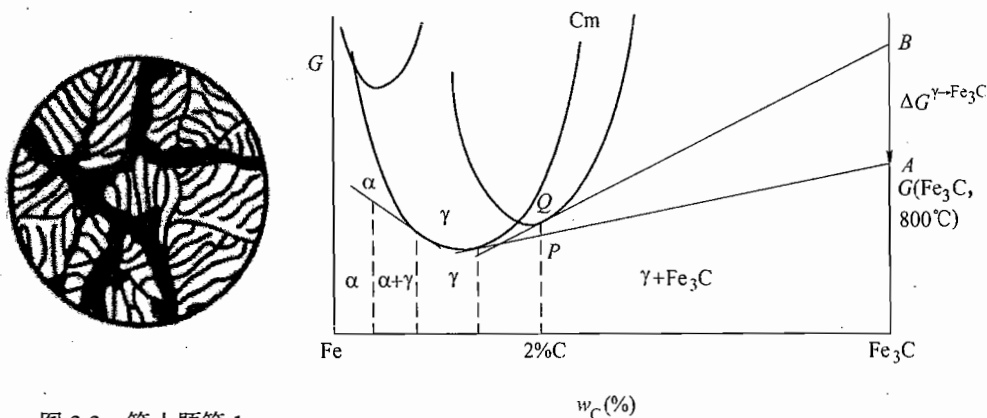


图 3-3 第十题第 1 小题解答图

图 3-4 第十题第 3 小题解答图

4. 图 3-5a 是 800℃ 渗碳后的相分布。冷却至室温后 γ 中析出 α 和 Fe_3C , 最后全部转化为 α 和 Fe_3C ; α 中也析出 Fe_3C , 最后转化为 α 和 Fe_3C , 见图 3-5b。

Fe_3C	γ	α	Fe
a)			
Fe_3C	$Fe_3C + P$	$P + \alpha$	α 心部
b)			

图 3-5 第十题第 4 小题解答图

试 卷 四

2004 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料学、材料物理化学

一、(8 分) 标出图 4-1 中 (a)、(b)、(c)、(d) 的晶向指数和 (E)、(F)、(G)、(H) 的晶面指数。

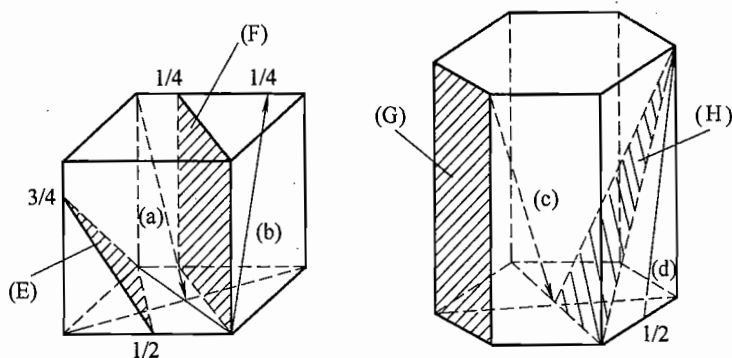


图 4-1 第一题图

二、(5 分) 二维点阵共有几种？指出其类型并用图表示。

三、(12 分) 画出下列晶体的一个晶胞：(a) 纤锌矿 (ZnS)；(b) 钙钛矿 (BaTiO_3)；(c) 方石英 (SiO_2)。

四、(5 分) 图示并写出 FCC、BCC、HCP ($c/a > \sqrt{8/3}$) 的密排面、密排面间距、密排方向、密排方向最小单位长度。

五、(20 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 $[00\bar{1}]$ 标准投影或取向胞，并由此确定初始滑移系统。
2. 转动规律和转轴。
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。

六、(10分) 在 FCC 晶体的 (111) 面上有一自左向右扫过的 Shockley 分位错 EF 和一正三角形空位片 MNO , 如图 4-2 所示, 已知 \overline{NO} 为 $[\bar{1}10]$ 。

1. 写出各位错的柏式矢量。
2. 判断各位错的性质。
3. 指出 I、II、III 区原子在 $[111]$ 方向的堆垛次序。

七、(10分) 有两条相距为 d 的刃型位错 1 和 2, 其柏式矢量分别为 \vec{b}_1 和 \vec{b}_2 , 求位错 2 受位错 1 的攀移力和滑移力。已知刃位错的应力场为:

$$\sigma_x = -\frac{Gb}{2\pi(1-\nu)} \frac{y(3x^2 + y^2)}{(x^2 + y^2)^2}$$

$$\sigma_y = \frac{Gb}{2\pi(1-\nu)} \frac{y(x^2 - y^2)}{(x^2 + y^2)^2}$$

$$\sigma_z = \nu(\sigma_x + \sigma_y)$$

$$\tau_{xy} = \frac{Gb}{2\pi(1-\nu)} \frac{x(x^2 - y^2)}{(x^2 + y^2)^2}$$

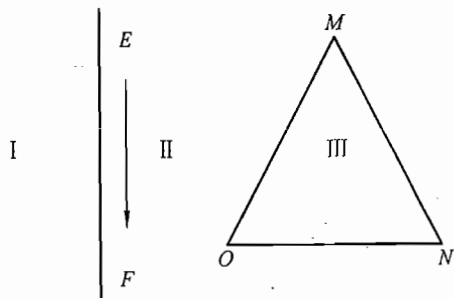


图 4-2 第六题图

八、(10分) 有两根单晶 Zn 棒 (Zn 为 HCP 结构, 其 $c/a = 1.86$), 轴向分别为 $[\bar{1}0\bar{1}0]$ 、 $[0001]$, 今在室温条件下沿轴向拉伸, 请分析各自可能的形变方式, 写出相应的滑移系统或者孪生系统 (如果启动的话)。

九、(10分) 写出: ① 点缺陷的平衡浓度表达式; ② 扩散系数与温度关系的表达式, 并指出每个参量所表达的物理意义。

十、(10分) 何谓克根达耳效应, 克根达耳试验结果给人们哪些启示?

十一、(10分) 画图并指出典型铸锭 (如钢水在砂模中) 的组织, 并指出其形成原因。

十二、(20分) 指出图 4-3 中各相图的错误, 并加以解释。

十三、(20分) 画出 Fe-Fe₃C 相图与下列问题相关的部分, 并分析:

1. 2% C 合金平衡状态下结晶过程、室温组织 (画示意图), 计算组织相对含量。
2. 2% C 合金快冷, 不平衡状态下结晶过程和组织的变化。
3. 画出在 800℃ 下该合金在平衡状态下的自由能-成分曲线, 并用图解法作出其形核驱动力。
4. 如纯铁在 800℃ 渗碳气氛下扩散, 试由 Fe-Fe₃C 相图分析等温扩散后冷却至室温的组织。

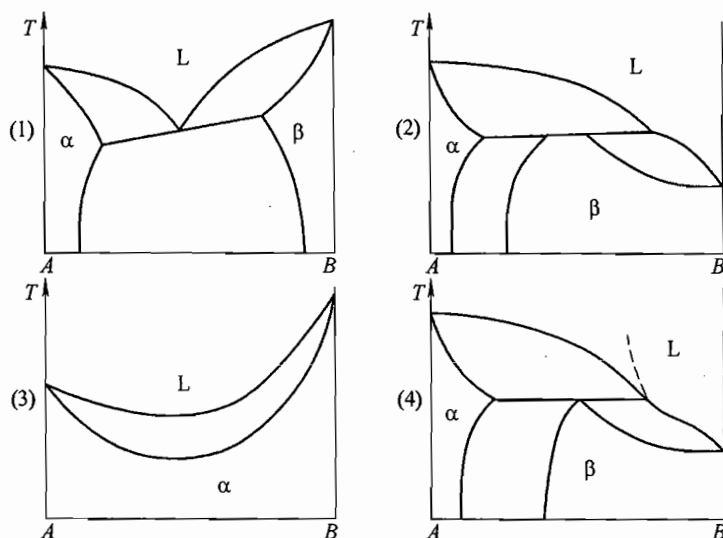


图 4-3 第十二题图

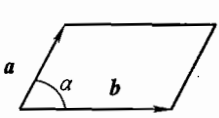
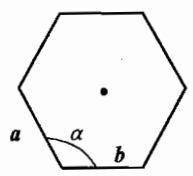
标准答案

一、(a) 的晶向指数是 $[11\bar{2}]$; (b) 的晶向指数是 $[\bar{4}14]$; (c) 的晶向指数是 $[\bar{2}11\bar{3}]$; (d) 的晶向指数是 $[\bar{2}116]$ 。

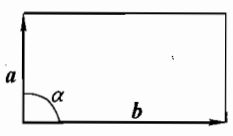
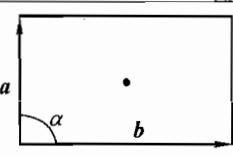
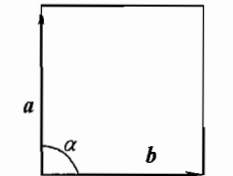
(E) 的晶面指数是 $(\bar{3}64)$; (F) 的晶面指数是 $(\bar{3}40)$; (G) 的晶面指数是 $(1\bar{1}00)$; (H) 的晶面指数是 $(1\bar{1}01)$ 。

二、见表 4-1。

表 4-1 第二题解答表

晶系类型	点阵类型	晶体学晶胞形状	点阵常数间的关系和特点
斜方	斜方		$ a \neq b , \alpha \neq \frac{\pi}{2}$
六角	六角		$ a = b , \alpha = \frac{2\pi}{3}$

(续)

晶系类型	点阵类型	晶体学晶胞形状	点阵常数间的关系和特点
长方	长方		$ a \neq b , \alpha = \frac{\pi}{2}$
	有心长方		
正方	正方		$ a = b , \alpha = \frac{\pi}{2}$

三、见图 4.4。

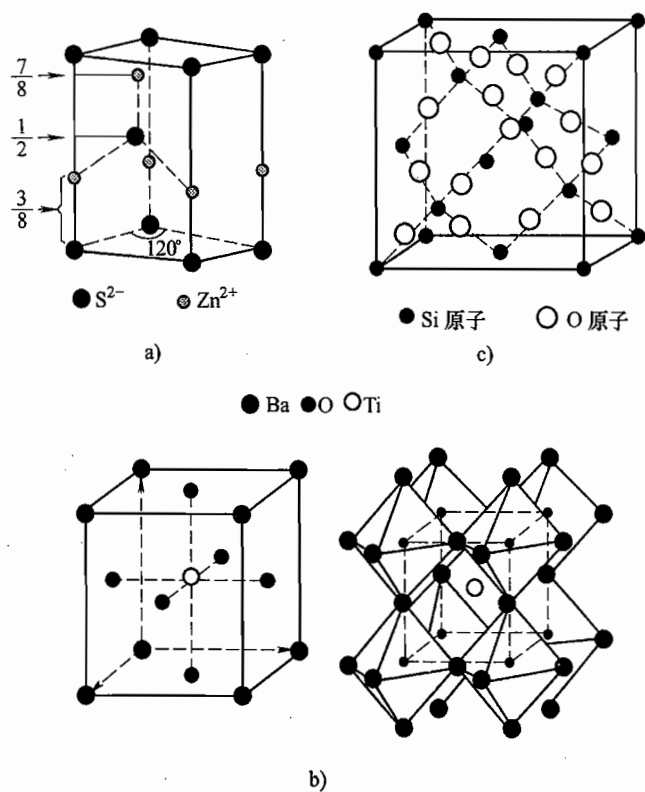


图 4.4 第三题解答图

a) 纤锌矿的晶胞 b) 钙钛矿的晶胞 c) 方石英的晶胞

四、见表 4-2。

表 4-2 第四题解答表

晶体结构	密排面	密排面间距	密排方向	密排方向最小单位长度
FCC	$\{111\}$	$\frac{\sqrt{3}}{3}a$	$\langle 110 \rangle$	$\frac{\sqrt{2}}{2}a$
BCC	$\{110\}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}a$	$\langle 111 \rangle$	$\frac{\sqrt{3}}{2}a$
HCP	$\{0001\}$	$\frac{1}{2}c$	$\langle 11\bar{2}0 \rangle$	a

五、

1. 单晶试棒沿轴向进行拉伸, 所以拉力 $F_1 = [12\bar{3}]$ 。

该力 F_1 在立方晶系 $[00\bar{1}]$ 标准投影 (如图 4-5 中 F_1) 上的极点处于 $(00\bar{1}) - (01\bar{1}) - (11\bar{1})$ 取向三角形中。

因为 FCC 晶体的滑移系统为 $\{111\} \langle 1\bar{1}0 \rangle$

所以 根据映象规则, 可知初始滑移系统为: $(\bar{1}1\bar{1})[10\bar{1}]$

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_1 点转到 F_2 点时, 发生双滑移。双滑移系统为:

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

4. γ 可按下式计算:

$$\bar{L} = \bar{l} + \gamma(\bar{l} \cdot \bar{n})\bar{b}$$

$$\text{令 } \bar{l} = [12\bar{3}], \quad \bar{L} = [vw], \quad \bar{n} = \frac{[\bar{1}\bar{1}\bar{1}]}{\sqrt{3}}, \quad \bar{b} = \frac{[10\bar{1}]}{\sqrt{2}}.$$

$$\begin{aligned} \text{代入上式: } [vw] &= [12\bar{3}] + \gamma \left([12\bar{3}] \cdot \frac{[\bar{1}\bar{1}\bar{1}]}{\sqrt{3}} \right) \frac{[10\bar{1}]}{\sqrt{2}} \\ &= [12\bar{3}] + \gamma \frac{4}{\sqrt{6}} [10\bar{1}] \end{aligned}$$

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

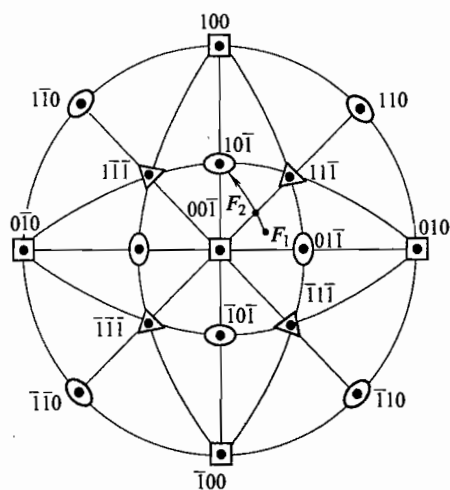


图 4-5 第五题第 1 小题解答图

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

即 双滑移开始时的取向是 $[11\bar{2}]$, 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 $n_1 = [11\bar{2}] \times [10\bar{1}] = [\bar{1}\bar{1}\bar{1}]$; 一方面又转向 $[01\bar{1}]$, 其转轴为 $n_2 = [11\bar{2}] \times [01\bar{1}] = [111]$ 。故合成转轴为 $n = n_1 + n_2 = [000]$, 即晶体取向不再改变, 只是被拉长。

6. 晶体的最终取向就是 F_2 , 即 $[11\bar{2}]$ 。

六、

1. MN 、 NO 、 OM 位错线的柏式矢量为 $\frac{1}{3}[\bar{1}\bar{1}\bar{1}]$; EF 的柏式矢量为 $\frac{1}{6}[11\bar{2}]$ (或者 $\frac{1}{6}[2\bar{1}\bar{1}]$ 、 $\frac{1}{6}[\bar{2}11]$; $\frac{1}{6}[\bar{1}2\bar{1}]$ 、 $\frac{1}{6}[\bar{1}\bar{2}1]$)。

2. 正三角形 MNO 是个空位片, 所以 MN 、 NO 、 OM 是 Frank 分位错; EF 是 Shockley 分位错。 MN 、 NO 、 OM 都是刃型位错。当 EF 柏式矢量为 $\frac{1}{6}[11\bar{2}]$ 时, 是右旋螺型位错; 当 EF 的柏式矢量为 $\frac{1}{6}[2\bar{1}\bar{1}]$ 、 $\frac{1}{6}[\bar{2}11]$, 或者 $\frac{1}{6}[\bar{1}2\bar{1}]$ 、 $\frac{1}{6}[\bar{1}\bar{2}1]$ 时, 为混合位错。

3. I: $ABCA B \mid ABCABC$

II: $ABCABCABCABC$

III: $ABCA B \mid ABCABC$

七、

(1) 滑移力

$$f_{x,12} = -\tau_{xy}b_2 = -\frac{Gb_1b_2}{2\pi(1-\nu)} \frac{x(x^2-d^2)}{(x^2+d^2)^2}$$

(2) 攀移力

$$f_{y,12} = \sigma_x b_2 = \sigma_x = -\frac{Gb_1b_2}{2\pi(1-\nu)} \frac{d(3x^2+d^2)}{(x^2+d^2)^2}$$

八、图 4-6 为 HCP 晶体的孪生四要素:

$K_1 \quad \eta_1, K_2 \quad \eta_2$

$(10\bar{1}2) \quad [\bar{1}011], (\bar{1}012) \quad [10\bar{1}1]$

$$K_1、K_2 \text{ 的夹角 } 2\phi \text{ 为: } \tan\phi = \frac{\sqrt{3}}{\frac{c}{a}}$$

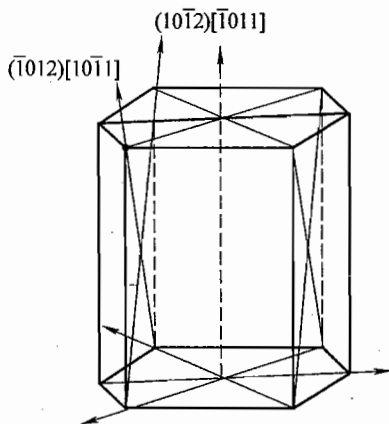


图 4-6 第八题解答图

因为 Zn 的 $c/a = 1.86$

所以 2ϕ 为锐角

如果发生孪生时, 在 2ϕ 区域内该晶向应缩短。

1. 当轴向为 $[0001]$ 的 Zn 棒沿轴向拉伸时, 轴向伸长, 与孪生时长度变化趋势相反, 故不可孪生。因拉伸时, 外力沿着轴向 $[0001]$, 与滑移面 (0001) 垂直, 故 Schmid 因子为 0, 不可滑移。所以当轴向为 $[0001]$ 的 Zn 棒沿轴向拉伸时, Zn 棒会脆断。

2. 当轴向为 $[10\bar{1}0]$ 的 Zn 棒沿轴向拉伸时, 一方面 $[0001]$ 晶向将缩短, 与孪生时长度变化一致, 所以能发生孪生, 孪生系统为 $(10\bar{1}2)$ $[\bar{1}011]$ 、 $(\bar{1}012)$ $[10\bar{1}1]$; 另一方面, 根据 Schmid 定律, 可知 Zn 棒不发生滑移。但孪生的结果可改变位向, 从而可产生滑移, 故 Zn 棒会表现出一定塑性。

九、

①点缺陷的平衡浓度表达式

$$\text{Schottky 缺陷浓度 } \bar{C}_S = \exp\left(-\frac{\Delta G_S}{RT}\right)$$

式中, \bar{C}_S 为 Schottky 点缺陷平衡浓度; ΔG_S 为 Schottky 点缺陷的摩尔生成 Gibbs 自由焓; T 为体系所处的热力学温度 (K); R 为摩尔气体常数。

$$\text{Frenkel 缺陷浓度 } \bar{C}_F = \exp\left(-\frac{\Delta G_F}{RT}\right)$$

式中, \bar{C}_F 为 Frenkel 点缺陷平衡浓度; ΔG_F 为 Frenkel 点缺陷的摩尔生成 Gibbs 自由焓; T 为体系所处的热力学温度 (K); R 为摩尔气体常数。

②扩散系数与温度关系的表达式

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$$

式中, D_0 为扩散常数或频率因子; Q 为扩散激活能 (J/mol); T 为体系所处的热力学温度 (K); R 为摩尔气体常数。

十、

(1) 克根达耳效应

如图 4-7 所示, 在 FCC 结构的 α 黄铜 (Cu + 30% Zn) 棒上敷上很细的钼丝作为标记, 再在黄铜上镀铜, 将钼丝包在黄铜与铜之间, 在一定温度下进行扩散。其中钼丝仅作为标志物, 在整个实验过程中不参加扩散。扩散组元是铜和锌, 二者构成置换式固溶体。在置换式固溶体的扩散过程中, 放置在原始界面上的标志物朝着低熔点元素的方向移动, 移动距离与时间成抛物线关系。造成这种现象的原因是: 低熔点组元扩散快, 高熔点组元扩散慢, 这种不等量的原子交换造成克根达耳效应。

(2) 克根达耳效应的实际意义

①揭示了扩散宏观规律与微观扩散机制的内在联系,具有普遍性;②直接否认了置换式固溶体扩散的换位机制,支持了空位机制;③扩散系统中每一种组元都有自己的扩散系数;④克根达耳现象往往会产生副效应,如收缩不完全会造成克根达耳孔等,这些副效应在实际当中往往产生不利的影响,因而应设法加以控制。

十一、如图 4-8 所示,典型的铸锭组织由三区组成:第 1 区为紧靠模壁表面的细晶区;第 2 区为垂直模壁表面生长的柱状晶区;第 3 区为铸锭中部的等轴晶区。

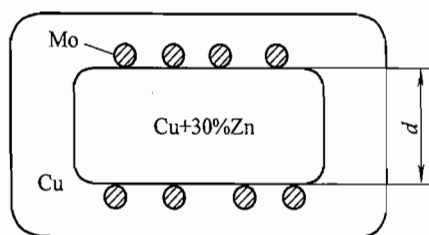


图 4-7 第十题解答图

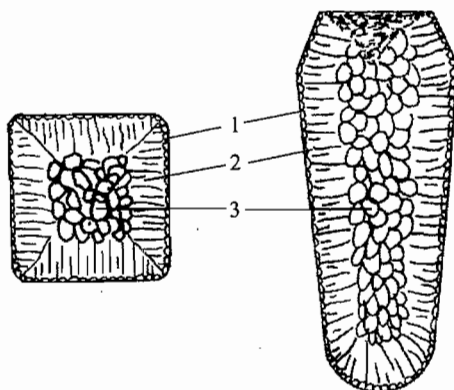


图 4-8 第十一题解答图

(1) 表面细晶区

该区核心多、冷却速度快、过冷度大,以树枝状向各个不同方向长大,因而形成细小、等轴晶体。由于细晶区结晶很快,放出的结晶潜热来不及散失,而使液-固界面的温度急剧升高,使细晶区很快便停止了发展,得到一层很薄的细晶区壳层。

(2) 柱晶区

细晶区形成后,模壁温度升高,散热减慢,液体冷速降低,过冷度减小,不再生核,细晶区中生长速度快的晶体可沿垂直模壁的散热反方向发展,其侧向生长因相互干扰而受阻,因而形成一级主轴发达的柱状晶。

(3) 中心等轴晶区

在中心过冷液体中,以外来杂质、细晶区的小晶体、柱晶区枝晶分枝等为晶核,形成等轴晶体。

十二、

(1) 根据相律: $f = c - p + 1$

在共晶反应中, 组元数 $c=2$, 相数 $p=3$, 所以自由度 $f=0$, 因此在共晶反应中温度恒定, 共晶反应线在相图中应对应于一条水平线, 而不是斜线。

(2) 根据相律: $f=c-p+1$

在包晶反应中, 组元数 $c=2$, 相数 $p=3$, 所以自由度 $f=0$, 因此在包晶反应 $\alpha+L=\beta$ 中 β 的成分应该不可变, 相图中 β 成分在一个区间内可变, 所以是错误的。

(3) 匀晶相图中某一温度下, 只能是确定成分的液相与确定成分的固相相平衡。不可能在某一温度下, 有两个不同成分的液相(或固相)平衡。

(4) 根据热力学, 所有两相区的边界线不应延伸到单相区, 而应伸向两相区。

十三、Fe-C 相图略。

1. 2% C 合金平衡状态下结晶过程

在高温结晶时不发生包晶反应。

1-2 $L \rightarrow \gamma$ 。二相成分和相对量都发生变化, L 相沿 BC 线变化, γ 相沿 JE 线变化。 L 相减少, γ 相增多, 2 为 γ 相点。

2-3 不发生变化, 仍保持 γ 相。

3-4 γ 相中析出渗碳体, $\gamma \rightarrow Fe_3C_{II}$, 随 Fe_3C_{II} 析出, γ 相沿 ES 变化。



图 4-9 第十三题第
1 小题解答图

$$4 \quad \gamma_S + Fe_3C_{II}, Fe_3C_{II} = \frac{4S}{SK} \times 100\%$$

4-4' $\gamma_S \rightarrow \alpha + Fe_3C$, 形成 P 组织。

4' 以后不发生变化。在室温下组织为 $P + Fe_3C_{II}$, 即过共析钢

$$Fe_3C_{II} = \frac{(2 - 0.77) \times 10^{-2}}{(6.69 - 0.77) \times 10^{-2}} \times 100\% = 20.78\%$$

即最后室温组织中 Fe_3C_{II} 为 20.78%, P 为 79.22%。

室温组织示意于图 4-9。

2. 可能发生共晶反应 $L \rightarrow Ld(\gamma + Fe_3C)$:

① 将有不平衡共晶组织出现, 可能发生共晶反应产生 Ld 。

② 得到的 P 其片层间距将更为细小。

③ 析出 Fe_3C_{II} 的量将减少, 甚至完全抑制了 Fe_3C_{II} 的析出。

3. 见图 4-10。 α 、 γ 和 $\gamma + Fe_3C$ 曲线两两相切。当含 C 为 2% 时, 由直线定则, P 点为 $\gamma + Fe_3C$ 两相的自由能, Q 点为 γ 母相的自由能。对于该合金, 肯定析出 Fe_3C 而不会是析出 α 。

4. 图 4-11a 是 800°C 渗碳后的相分布。冷却至室温后 γ 中析出 α 和 Fe_3C , 最

后全部转化为 α 和 Fe_3C ; α 中也析出 Fe_3C , 最后转化为 α 和 Fe_3C , 见图 4-11b。

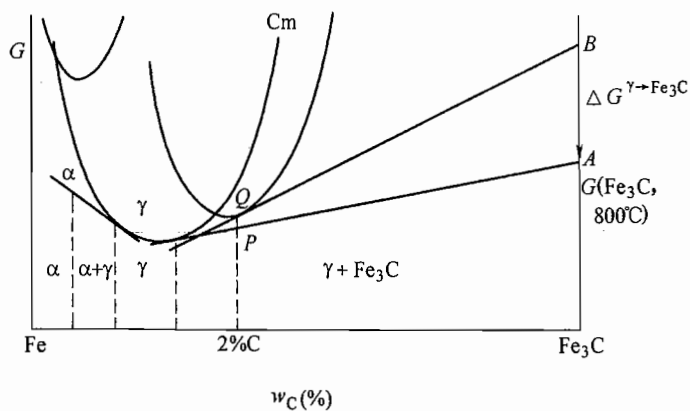


图 4-10 第十三题第 3 小题解答图

Fe_3C	γ	α	Fe
-----------------------	----------	----------	----

a)

Fe_3C	$\text{Fe}_3\text{C} + \text{P}$	$\text{P} + \alpha$	α 心部
-----------------------	----------------------------------	---------------------	-------------

b)

图 4-11 第十三题第 4 小题解答图

试 卷 五

2005 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料学、材料物理化学

一、(10 分)

1. 写出图 5-1a (立方晶体) 中 ED 、 $C'F$ 晶向指数和 ACH 、 FGD' 晶面指数, 并求出由 ACH 、 FGD' 两个晶面构成的晶带轴; ACH 晶面的晶面距。

2. 写图 5-1b (六方晶体) 中 GO' 、 $F'D$ 晶向指数和 $ADE'F'$ 、 $HE'O'$ 晶面指数。

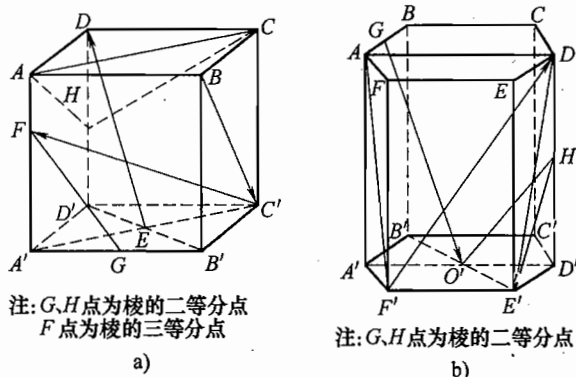


图 5-1 第一题图

二、(10 分)

1. 简述鲍林规则 (Pauling);

2. 画出下列晶体的一个晶胞: (a) 萤石 (CaF_2)、(b) 钙钛矿 (BaTiO_3)。

三、(15 分) 有两根单晶 Mg 棒 (Mg 为 HCP 结构, $c/a = 1.62$), 轴向分别为 $[0001]$ 、 $[10\bar{1}0]$, 在室温条件下沿轴向拉伸, 请分析各自可能的形变方式, 并在晶胞图上画出相应的滑移系统或孪生系统 (如果启动的话), 并标上指数。

四、(20 分) 有一根横截面积为 A_0 的 BCC 金属单晶体试棒沿轴向进行拉伸试验。已知临界分切应力为 τ_c , 棒轴的初始取向为 $[\bar{4}21]$ 。请回答:

1. 画出立方晶系 $[100]$ 标准投影或取向胞, 并由此确定初始滑移系统 (要求写出具体指数)。

2. 转动规律和转轴。
3. 双滑移系统。
4. 双滑移开始时晶体的取向。
5. 双滑移开始时轴向拉力 P_0 (不考虑物理硬化)。
6. 晶体最终的稳定取向 (假设试棒在达到稳定取向前不断裂)。

五、(15分) 在图 5-2 所示的简单立方晶体 (边长为 a) 的 1、2 两个面上分别有一条位错线 CD 、 AB 。其中位错线 AB 的柏式矢量 $b_1 = a [010]$, 位错线 CD 的柏式矢量 $b_2 = a [00\bar{1}]$ 。求解以下问题:

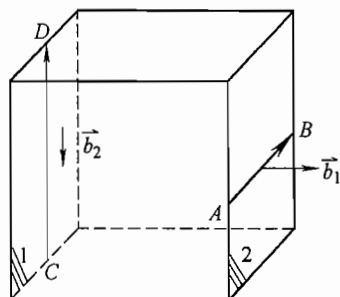


图 5-2 第五题图

1. 指出 AB 、 CD 各位错的类型。

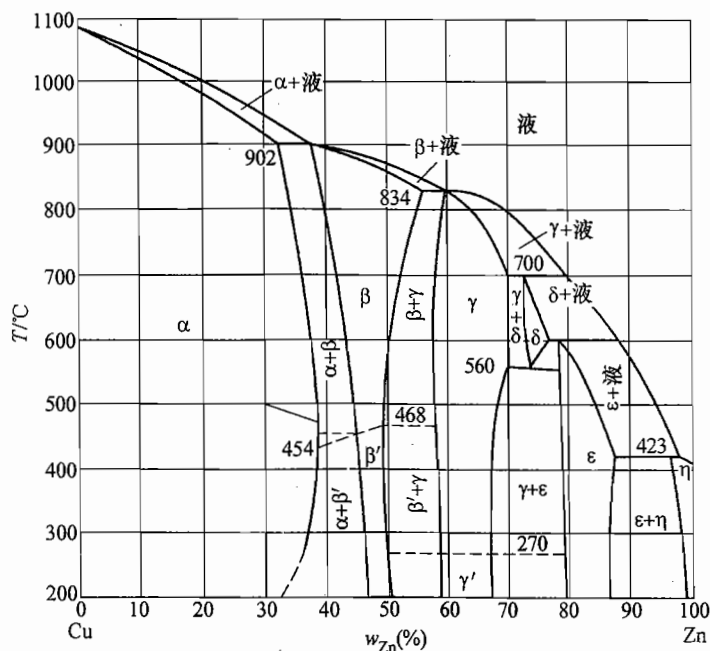


图 5-3 第六题图

2. 指出位错 CD 对位错 AB 的作用力。并说明在该力的作用下，位错 AB 将如何运动？

3. 请画出位错 AB 和位错 CD 交割后各自的形状，要求指出割阶的位置和长度。

六、(10分) 将一个纯铜棒长时间置于 500°C 的锌液中，请根据图 5-3 所示的 Cu-Zn 相图，画出扩散后沿铜棒表面到内部沿深度方向的相分布和浓度分布曲线。要求标出浓度分布曲线和相图的对应关系。

七、(30分) 根据图 5-4 所示的 Mg-Mn 合金相图（假设 Mg 不溶于 Mn），完成下列要求：

1. 相图所给的三个温度下分别发生什么反应？给出反应式和反应相的成分。

2. 对应相图画出 652°C 、 653°C 、 654°C 温度下的自由能曲线的示意图，并以该图解释在 652°C 和 654°C 温度下含 4% Mn（重量百分数）的 Mg 合金中的平衡相组成。（提示：采用 Mg 至 100% Mn 成分区间）

3. 若要用纯 Mg 和纯 Mn（熔点 = 1244°C ）来炼制含 4% Mn（重量百分数）的 Mg 合金，熔化炉的常规使用温度不应低于多少度？

4. 建议含 Mn 1.6%（重量百分数）的 Mg 合金在时效热处理之前的均匀化热处理的温度范围。随后合金在 350°C 下进行时效热处理，假设合金在时效后获得平衡组织，计算平衡组织中沉淀相的比例（重量百分数）。

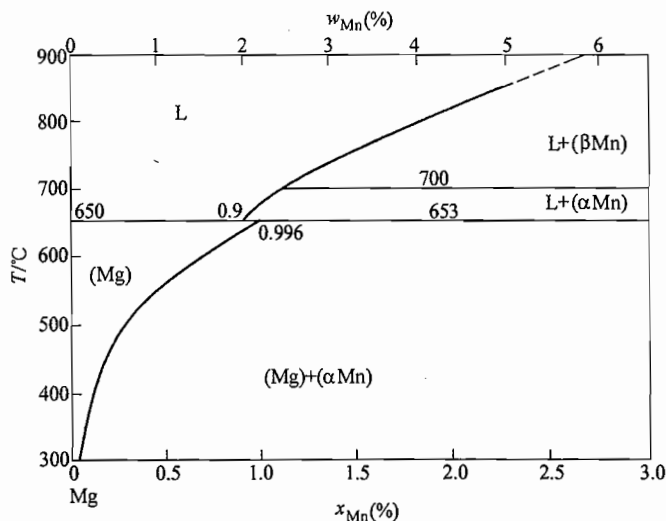


图 5-4 第七题图

八、(15分) 典型的金属铸锭组织一般分为三个什么区？要获得成分、性能均匀的铸锭往往要扩大什么区？提出三种实现上述区扩大的技术途径，并简要阐明理论依据。

九、(15分) Al 合金时效处理时往往先析出亚稳相, 在热力学和动力学理论基础上讨论未析出平衡相的原因。不少沉淀相与母相基体之间存在特定的位向关系, 试分析这种位向关系的产生原因。

十、(10分) 有两批工业纯铝的试样分别于6月5日和6月9日以相同的变形量进行轧制, 然后于9日同时进行再结晶退火。实验发现对于采用相同的时间退火, 两批试样需要完成再结晶的温度不同, 你认为哪批试样的再结晶温度较高, 为什么?

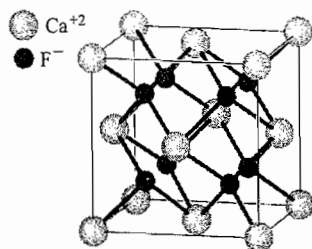
标准答案

一、

1. $ED: [\bar{1}\bar{1}2]$; $C'F: [3\bar{3}2]$; $ACH: (11\bar{2})$, $FGD': (\bar{2}43)$

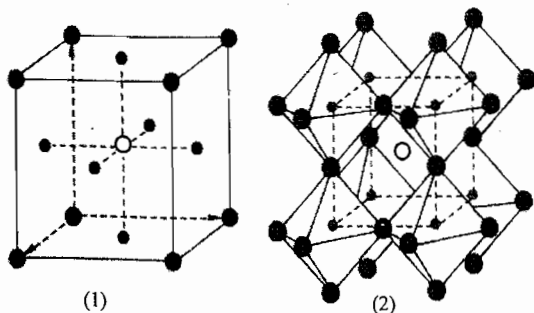
设由 ACH 、 FGD' 构成的晶带为 $[uvw]$, 则有;

$$\begin{cases} h_1 u + k_1 v + l_1 w = 0 \\ h_2 u + k_2 v + l_2 w = 0 \end{cases}$$



a)

●Ba ●O ○Ti



b)

图 5-5 第二题第 2 小题解答图

则

$$\begin{cases} u = h_1 l_2 - k_2 l_1 = 11 \\ v = l_1 h_2 - l_2 h_1 = 1 \\ w = h_1 k_2 - h_2 k_1 = 6 \end{cases}$$

所以有

$$[uvw] = [11\ 1\ 6]$$

ACH 的晶面距为

$$d = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} = \frac{a}{\sqrt{6}}$$

2. GO' : $[01\bar{1}\ 2]$; $F'D$: $[\bar{1}101]$; $ADE'F'$: $(10\bar{1}1)$, $HE'O'$: $(1\bar{1}02)$

二、

1. 鲍林 (Pauling) 规则:

① 负离子配位多面体规则: 在正离子周围形成一负离子配位多面体, 正负离子之间的距离取决于离子半径之和, 而配位数则取决于正负离子半径之比。

② 电价规则: 在形成一个离子键时, 正离子给出的价电子数等于负离子得到的价电子数。

③ 配位多面体连接规则: 配位多面体倾向于共顶连接, 其次是共棱、共面连接。正离子的电价越高, 配位数越低, 则该效应越明显。

④ 在含有一种以上的正离子的晶体中, 电价大、配位数小的正离子周围的负离子配位多面体力图共顶连接。

⑤ 晶体中配位多面体的类型少图最少。

2. 见图 5-5。

三、图 5-6a 为 HCP 晶体的孪生四要素:

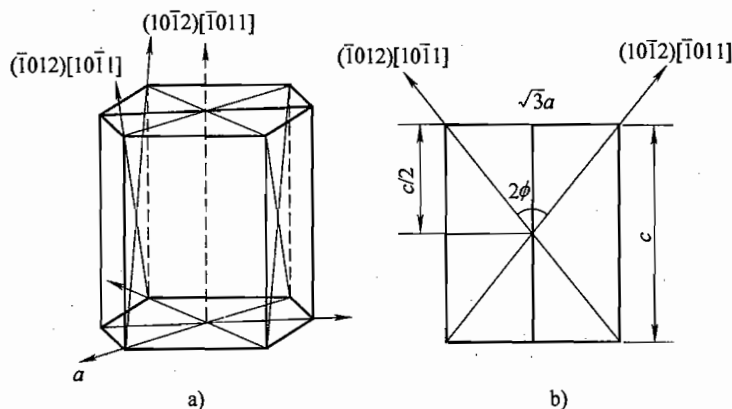


图 5-6 第三题解答图

$$\begin{matrix} K_1 & \eta_1 \\ (10\bar{1}2)[\bar{1}011] \end{matrix}, \begin{matrix} K_2 & \eta_2 \\ (10\bar{1}2)[10\bar{1}1] \end{matrix}$$

$$K_1、K_2 \text{ 的夹角 } 2\phi \text{ 为: } \tan 2\phi = \frac{\sqrt{3}}{\frac{c}{a}}$$

因为 Mg 的 $c/a = 1.62$

所以 2ϕ 为钝角

如果发生孪生时，在 2ϕ 区域内该晶向应伸长。

1. 如图 5-6b 所示, 当轴向为 $[0001]$ 的 Mg 棒沿轴向拉伸时, 轴向伸长, 与孪生时长度变化趋势一致, 故可发生孪生, 孪生系统为 $(10\bar{1}2)[\bar{1}011]$ 、 $(\bar{1}012)[10\bar{1}1]$ 。因拉伸时, 外力沿着轴向 $[0001]$, 与滑移面 (0001) 垂直, 故 Schmid 因子为 0, 不可滑移。

2. 当轴向为 $[10\bar{1}0]$ 的Mg棒沿轴向拉伸时,一方面 $[0001]$ 晶向将缩短,与孪生时长度变化矛盾,所以不能发生孪生;另一方面,根据Schmid定律,可知Mg棒可以发生滑移,滑移系统为 $(01\bar{1}0)[2\bar{1}\bar{1}0]$ 、 $(1\bar{1}00)[11\bar{2}0]$ 。

四、

1. 单晶试棒沿轴向进行拉伸,所以拉力为:

$$\mathbf{F} = [\bar{4}21]$$

为了方便起见, 可取 $\mathbf{F} = [4\bar{2}\bar{1}]$ 。

该力 F 在 001 标准投影 (如图 5-7) 上的极点处于 $(100) - (1\bar{1}0) - (1\bar{1}\bar{1})$ 取向三角形中。

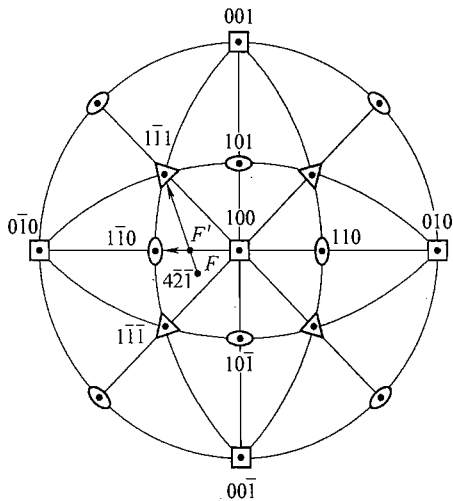


图 5-7 第四题第 1 小题解答图

因为 BCC 晶体的滑移系统为 $\{\bar{1}10\} \langle 111 \rangle$

所以 根据映象规则, 可知初始滑移系统为: $(10\bar{1}) [1\bar{1}1]$

2. 由于是拉伸,故滑移方向转向拉力方向,即 F 朝 $[\bar{1}\bar{1}1]$ 方向转动,转轴为:

$$[\bar{4}2\bar{1}] \times [\bar{1}\bar{1}1] = [\bar{3}5\bar{2}]$$

3. 当 F 点转到 F' 点时, 发生双滑移。双滑移系统为:

$$(10\bar{1})[\bar{1}\bar{1}1] + (101)[\bar{1}\bar{1}\bar{1}]$$

4. 当双滑移开始时, F' 的指数即为晶体的取向, 即 $F-(\bar{1}\bar{1}1)$ 与 $(1\bar{1}0)-(100)$ 两条连线的交点为:

$$[\bar{4}2\bar{1}] \times [\bar{1}\bar{1}1] = [\bar{3}5\bar{2}], [\bar{1}\bar{1}0] \times [100] = [001]$$

所以

$$[\bar{3}5\bar{2}] \times [001] = [\bar{5}30]$$

$$5. \tau_c = \frac{P_0 \cos \lambda}{\frac{A_0}{\cos \phi_0}} \Rightarrow P_0 = \frac{\tau_c A_0}{\cos \lambda \cos \phi_0}$$

式中, ϕ_0 为初始轴向与滑移面法线的夹角; λ 为双滑移开始时轴向与滑移方向的夹角。

则

$$\cos \phi_0 = \cos[(\bar{4}2\bar{1})^{\wedge}(10\bar{1})] = \frac{5}{\sqrt{42}}$$

$$\cos \lambda = \cos[(\bar{5}30)^{\wedge}(\bar{1}\bar{1}\bar{1})] = \frac{8}{\sqrt{102}}$$

所以

$$P_0 = \frac{\tau_c A_0}{\frac{5}{\sqrt{42}} \times \frac{8}{\sqrt{102}}} = \frac{3}{20} \sqrt{119} \tau_c A_0$$

6. 当 F' 滑移到 $[\bar{1}\bar{1}0]$, 晶体的取向为最终的稳定取向, 因为此时 $[\bar{1}\bar{1}0]$ —

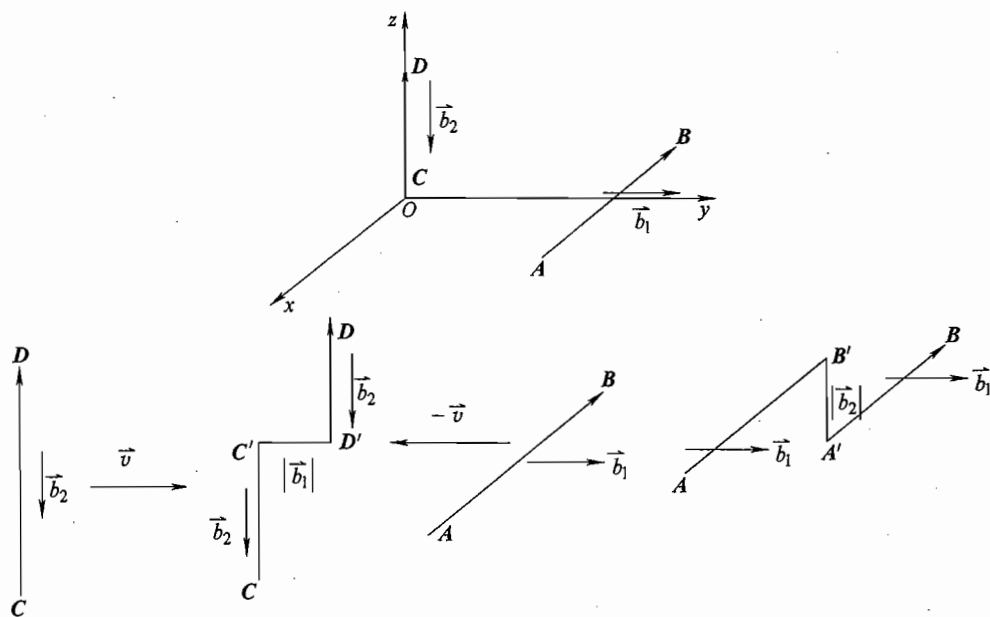


图 5-8 第五题解答图

方面向 $[\bar{1}\bar{1}1]$ 转动, 同时又向 $[1\bar{1}1]$ 转动, 转轴相同, 轴向相反。晶体取向不再改变, 只是被拉长。

五、

1. AB 为正刃型位错, CD 为左螺型位错。

2. 建立如图 5-8 所示的直角坐标系 $Oxyz$ 。位错 AB 受 CD 应力场的作用力为:

$$f_{AB} = -\tau_{yz}b_1 = -\left(-\frac{Gb_2}{2\pi} \frac{x}{x^2 + y^2}\right)b_1 = \frac{Gb_1b_2}{2\pi} \frac{x}{x^2 + y^2}$$

对 $x=0$ 点, $f_{AB}=0$;

$x>0$ 段, f_{AB} 向右;

$x<0$ 段, f_{AB} 向左。

3. AB 和 CD 交割后, 形状将变为:

$A'B'$ 为割阶, 长度为 b_2 ; $C'D'$ 为弯折, 长度为 b_1 。

六、见图 5-9。

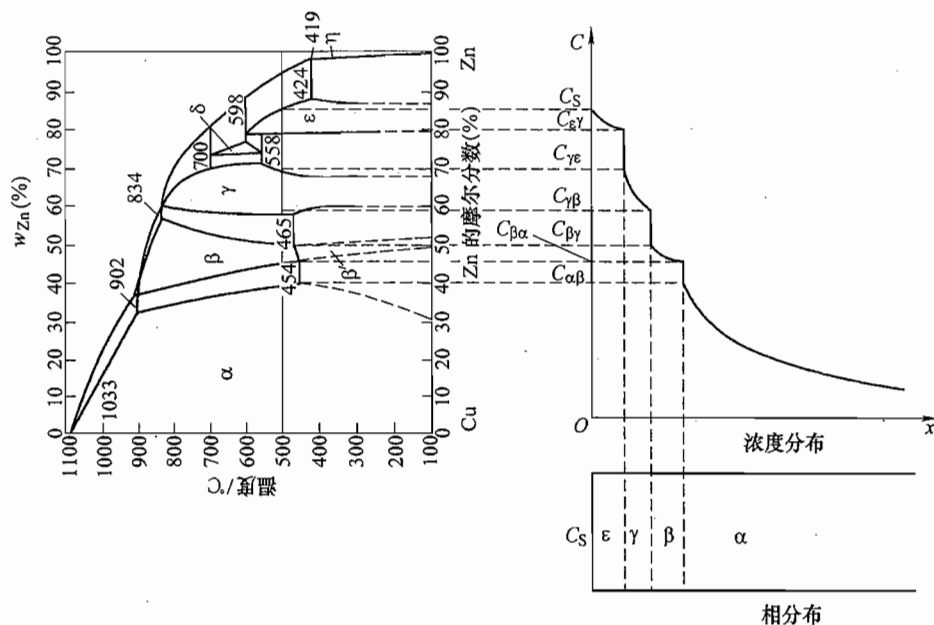


图 5-9 第六题解答图

七、

1. 700°C $\beta(100\% \text{ Mn}) \rightarrow \alpha(100\% \text{ Mn})$ 同素异构转变

653°C $L(0.9\% \text{ Mn}) + \alpha(100\% \text{ Mn}) \rightarrow \text{Mg 的固溶体}(0.996\% \text{ Mn})$ 包晶反应

650°C $L(100\% \text{ Mg}) \rightarrow S(100\% \text{ Mg})$ 熔化-结晶反应

2. 如图 5-10 所示, 含 4% Mn 的 Mg 合金在 654°C 时以纯 Mn 和含 0.92at% Mn

的液相混合状态存在时,系统的自由能最低,因此该温度下平衡相组成为纯 Mg 和以上成分的液相。同理,在 652℃时,该合金的平衡相组成为含 0.98% Mn 的 Mg 固溶体和纯 Mn,此组成的系统自由能最低。

3. 熔化炉的常规使用温度不低于 800℃,对应相图的液相线为 780℃,考虑到液体必须适当过热,而且炉温可能有不均匀,所以应高于液相线一定温度。

4. 理论温度范围约为 580 ~ 650℃,考虑实际工作的误差,610℃ ± 10℃ 为均匀化热处理温度范围。

350℃时析出的平衡相为 Mn,此时溶解度约为 0.2%Mn,析出相的重量百分数应为

$$\frac{1.6 - 0.2}{100 - 0.2} \times 100\% = 1.4\%$$

八、分激冷细晶区、柱状晶区、等轴晶区,要获得成分均匀的铸锭应扩大等轴晶区。

可采用:①加入细化剂,促进异质形核;②机械振动,减少枝晶,提供新核;③超声波处理,或电磁场处理。

九、先析出亚稳相是由于平衡相与母相之间的界面能高,而亚稳相与母相间的界面能低,界面能是固态相变形核时的主要能垒,要克服这个平衡相形核能垒往往需要很大的过冷度,系统才能发生明显的形核。以动力学看,在一定过冷度下,如果亚稳相更快形成,而平衡相要慢很多,那么在时效处理时,合金中就会先形成亚稳相。要实现低的界面能,母相与新相之间的主要界面上的原子必须要有很好的匹配关系,这只能在一定的位向关系条件下才能实现,因此沉淀相与母相间存在特定的位向关系。

十、6月5日变形的样品在放置的过程中可能发生部分回复,因为形变储能要降低,要发生再结晶则比没有放置的样品需要更高的激活能,因此,6月5日的试样再结晶温度较高。

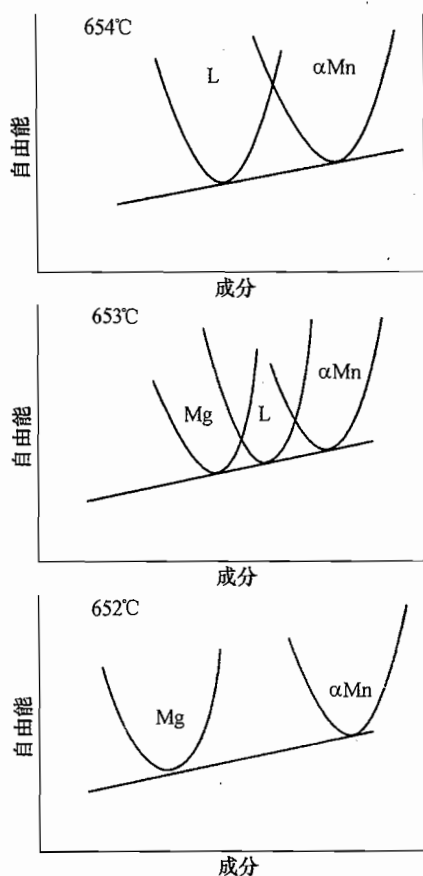


图 5-10 第七题第 2 小题解答图

试 卷 六

2006 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料学、材料物理化学

一、(10 分) 什么是 Kirkendall 效应？请用扩散理论加以解释。若 Cu-Al 组成的互扩散偶发生扩散时，界面标志物会向哪个方向移动？

二、(16 分) 标出图 6-1a、b (立方晶体) 和 c、d (六方晶体，用四指数) 中所示的各晶面和晶向的指数：

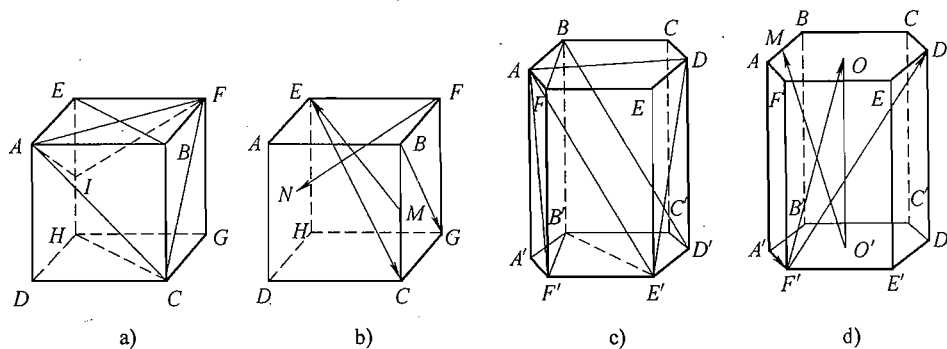


图 6-1 第二题图

1. 图 6-1a 中待求晶面： ACF 、 AFI (I 位于棱 EH 的中点)、 $BCHE$ 、 $ADHE$ 。
2. 图 6-1b 中待求晶向： BC 、 EC 、 FN (N 点位于面心位置)、 ME (M 点位于棱 BC 的中点)。

3. 图 6-1c 中待求晶面： $ABD'E'$ 、 $ADE'F'$ 、 $AFF'A'$ 、 $BFF'B'$ 。

4. 图 6-1d 中待求晶向： $A'F'$ 、 $O'M$ (M 点位于棱 AB 的中点)、 $F'O$ 、 $F'D$ 。

三、(10 分) 已知金刚石晶胞中最近邻的原子间距为 0.1544nm ，试求出金刚石的点阵常数 a 、配位数 C.N. 和致密度 ξ 。

四、(9 分) 判断在 FCC 中下列位错反应能否进行，并确认在无外力作用下的反应方向。

$$1. \frac{1}{3}[112] + \frac{1}{2}[111] \Leftrightarrow \frac{1}{6}[\bar{1}\bar{1}\bar{1}]$$

$$2. \frac{1}{6}[112] + \frac{1}{6}[110] \Leftrightarrow \frac{1}{3}[111]$$

$$3. \frac{1}{2}[10\bar{1}] \Leftrightarrow \frac{1}{6}[2\bar{1}\bar{1}] + \frac{1}{6}[11\bar{2}]$$

五、(20分) 将一根横截面积为 10cm^2 的 FCC 金属单晶体试棒沿轴向进行压缩试验。已知临界分切应力为 0.1kgf/mm^2 ，棒轴的初始取向为 $[21\bar{5}]$ ，请回答：

1. 初始滑移系统 (要求写出具体的指数)。
2. 滑移开始时的转动规律和转轴。
3. 双滑移系统。
4. 双滑移开始时晶体的取向 (即此时棒轴方向)。
5. 双滑移开始时的轴向压力 P (不考虑物理硬化)。

6. 晶体最终的稳定取向 (假设试棒在达到稳定取向不断裂)。

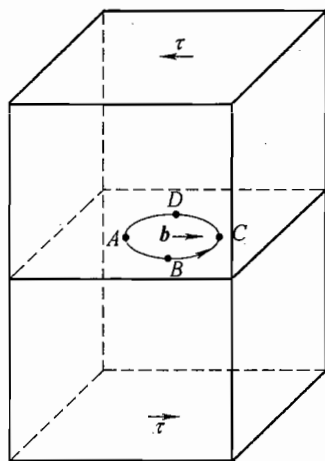


图 6-2 第六题图

六、(15分) 如图 6-2 所示，某晶体的滑移面上有一个柏氏矢量为 b 的位错环，并受到一个均匀的切应力 τ 的作用，试分析：

1. 该位错环各段位错的结构类型。
2. 求各段位错所受力的大小和方向。
3. 在 τ 的作用下，该位错环将要如何运动。
4. 在 τ 的作用下，若该位错环在晶体中稳定不动，其最小半径应该是多大？

七、(16分) 将经过 70% 拉伸冷变形的长铜棒 (Cu 的熔点为 1083°C) 一端浸入冰水中，另一端加热到 850°C 的高温，过程持续一个小时。

1. 画出沿该试棒长度方向温度分布图，并标出再结晶温度的大概值，对应图上的温度分布画出样品中金相组织连续变化示意图和硬度变化曲线。

2. 解释组织和硬度变化。

八、(40分) 根据图 6-3 所示 A-B 二元共晶相图 (共晶温度为 500°C)：

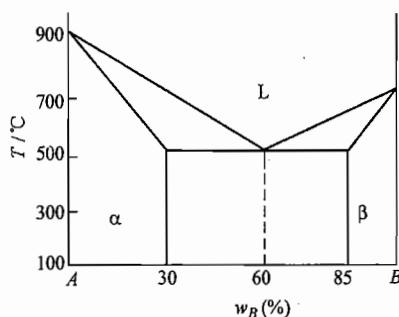


图 6-3 第八题图

1. 将含 $B = 10\text{wt}$ (重量)% 的合金进行定向凝固，定量给出结晶初始瞬间的晶体中 B 组元的浓度和稳态结晶前沿的液相浓度。并给出稳态结晶条件下液相所

对应的最高和最低液相线温度值。

2. 计算共晶成分的合金中 α 和 β 两相的重量比。

3. 已知凝固速度 $R = 1\text{cm/h}$, 扩散系数为 $D = 2 \times 10^{-5}\text{cm}^2/\text{s}$, 这系统相对于发生成分过冷的临界温度梯度应是多少? 为了保持液-固界面在整个凝固过程中处于平直状态, 真实系统的温度梯度应该大于还是小于这个临界值。

4. 在一般锭子凝固条件下, 在 $B = 25\text{wt}\%$ 合金的室温组织, 可以观察到 α 晶界上有少量 β 相, 这是否是平衡组织? 图示并解释该组织产生的原因。

九、(14分) Al-4%Cu 的合金, 在 190°C 时效处理的硬度变化可参照图 6-4, 要求:

1. 以时效形成的组织特点, 解释该合金不同时效时间产生的硬度变化;
2. 根据曲线和相图, 设计获得最高硬度的热处理工艺 (假设原材料具有平衡室温组织)。

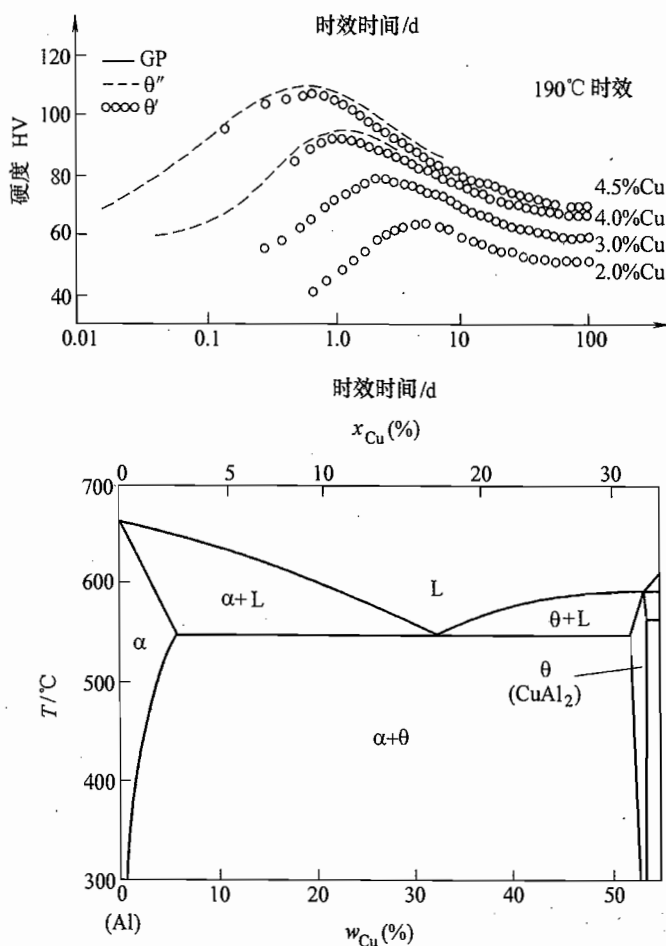


图 6-4 第九题图

1. $F = [2\bar{1}5] \rightarrow [\bar{2}\bar{1}5] \in ([001] - [\bar{1}01] - [\bar{1}\bar{1}1])$ 取向三角形, 初始滑移系统: $(\bar{1}11)[0\bar{1}1]$ 。

2. 因为是压缩, 所以转动规律: $F \rightarrow [\bar{1}11]$, 转轴 $[\bar{2}\bar{1}5] \times [\bar{1}11] = [\bar{6}33] = [2\bar{1}\bar{1}]$ 。

3. 双滑移系统: $(\bar{1}11)[0\bar{1}1] + (\bar{1}\bar{1}1)[011]$ 。

4. 双滑移开始时晶体的取向:

方法一: 用晶带关系求解

$$[\bar{2}\bar{1}5] \times [\bar{1}11] = [\bar{6}33] = [2\bar{1}\bar{1}]$$

$$[001] \times [\bar{1}01] = [0\bar{1}0]$$

双滑移开始时晶体的取向为: $[2\bar{1}\bar{1}] \times [0\bar{1}0] = [\bar{1}02]$ 。

方法二: 用压缩面变化公式求解

$$A = a - \gamma(a \cdot b)n$$

设双滑移开始时晶体的取向为 $[u0w]$, 则

$$[u0w] = [\bar{2}\bar{1}5] - \gamma \left([\bar{2}\bar{1}5] \cdot \frac{[0\bar{1}1]}{\sqrt{2}} \right) \frac{[\bar{1}11]}{\sqrt{3}}$$

$$\gamma = -\frac{\sqrt{6}}{6}, \quad u = -3, \quad w = 6$$

双滑移开始时晶体的取向为: $[\bar{3}06] = [\bar{1}02]$ 。

$$5. \tau_c = \sigma \cos \lambda \cos \varphi_0 = \frac{P}{A_0} \cos \lambda \cos \varphi_0 \rightarrow P = \frac{\tau_c A_0}{\cos \lambda \cos \varphi_0}$$

$$\cos \lambda = \cos([\bar{1}02], [0\bar{1}1]) = \frac{\sqrt{10}}{5}$$

$$\cos \varphi_0 = \cos([\bar{2}\bar{1}5], [\bar{1}11]) = \frac{\sqrt{10}}{5}$$

$$\text{所以 } P = \frac{0.1 \times 1000}{\frac{\sqrt{10}}{5} \times \frac{\sqrt{10}}{5}} \times 9.8 \text{ N} = 2450 \text{ N}$$

6. 晶体最终的稳定取向: $[\bar{1}01]$ 。

六、

1. A 为正刃型位错, B 为右螺旋位错, C 为负刃型位错, D 为左螺旋位错, 其他为混合型位错。

2. 各段位错所受的力大小均为 τb , 方向垂直于位错线指向环外。

3. 在外加切应力 τ 的作用下, 位错环将向外扩散。

4. 由公式 $\tau = \frac{Gb}{2r}$, 在 τ 的作用下, 此位错环要稳定不动, 其最小半径为 $r_{\min} =$

$$\frac{Gb}{2\tau}。$$

七、

1. 考虑铜棒为工业纯铜, 对于大变形的工业纯铜可以用 $0.4T_m$ (或 $0.35T_m$) 估计再结晶温度。题目已知 $T_m = 1083^\circ\text{C} = 1356\text{K}$, 所以 $T_r = 0.4T_m = 542\text{K} \approx 270^\circ\text{C}$ 。

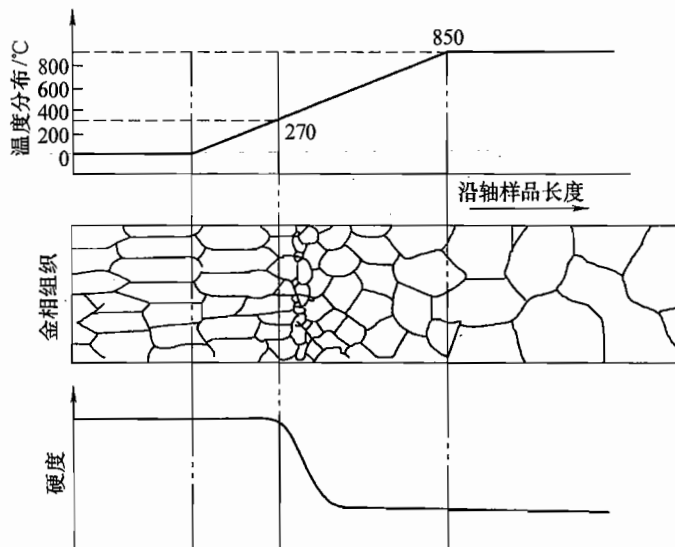


图 6-6 第七题第 1 小题解答图

2. 经冷变形的棒中晶粒要沿轴向明显拉长。再结晶温度以上的样品晶粒由于再结晶而成为等轴状, 温度越高晶粒越大, 在温度较高但低于再结晶温度的区域样品中发生回复, 但晶粒形状不变。

硬度随样品回复有少量下降。再结晶组织的硬度明显下降。晶粒长大使硬度进一步下降, 因此表现出上图中的硬度变化。

八、

1. 假设液相线和固相线均为直线, 从图 6-7 可知 $K_0 = C_S/C_L = 1/2$ 。含 10% B 的液相初始结晶时晶体中应含 $(10\%)/2 = 5\%$ B。在稳态结晶时结晶前沿成

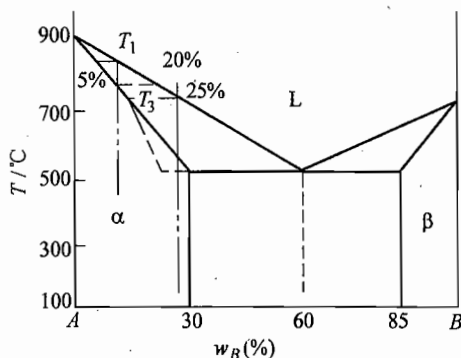


图 6-7 第八题第 1 小题解答图

分为合金成分的固相平衡, 所以液相成分为含 $(10\%) \times 2 = 20\% B$ 。从图 6-7 得知, 对应 60% 液相线上温度下降 400°C 。所以, B 每上升 10%, 温度下降 66.6°C , 即 $m = \frac{400^\circ\text{C}}{60\%}$ 。

液相中最高浓度 20% 和最低浓度 10% 分别对应的温度为:

$$T_3 = (900 - 2 \times 66.6)^\circ\text{C} \approx 766^\circ\text{C}$$

$$T_1 = (900 - 66.6)^\circ\text{C} \approx 833^\circ\text{C}$$

$$2. \alpha/\beta = (85 - 60)/(60 - 30) = 5/6$$

3. 成分过冷的临界温度梯度为:

$$\frac{T_1 - T_3}{D/R} = \frac{833 - 766}{2 \times 10^{-5} \times \frac{1}{3600}} = \frac{67}{7200 \times 10^{-5}}^\circ\text{C}/\text{cm} = 930^\circ\text{C}/\text{cm}$$

若取 $\frac{66.666}{7200 \times 10^{-5}}$, 得 $926^\circ\text{C}/\text{cm}$ 。

由已知条件并利用相关公式

$$m = \frac{400}{60\%}; k_0 = \frac{1}{2}; C_0 = 10\%; R = \frac{1\text{cm}}{h}; D = 2 \times 10^{-5} \text{cm/s}$$

得

$$\begin{aligned} G &= \frac{RmC_0(1-k_0)}{Dk_0} = \frac{1/3600}{2 \times 10^{-5}} \times \frac{400}{60} \times 10 \left(1 - \frac{1}{2}\right)^\circ\text{C}/\text{cm} \\ &= \frac{400}{6} \times \frac{10}{72 \times 10^{-3}}^\circ\text{C}/\text{cm} = \frac{100000}{108} = 926^\circ\text{C}/\text{cm} \end{aligned}$$

为了保持液固界面平直, 温度梯度应大于上述临界值。

4. 该组织不是平衡组织。产生原因是由于不平衡冷却。先结晶的固相含 B 较低, 而且在凝固过程中不能通过扩散使固相成分均匀, 其结果是固相的平均成分偏离固相线, 即图中虚线所示, 在共晶温度下仍有少量液相, 这部分液相在共晶温度下倾向于发生离异共晶, 其结果是在 α 晶界处留下了少量 β 相。

九、

1. 时效开始时基体中先析出 θ' 亚稳相, 该片状相的惯习面与基体共格, 这时亚稳相通过阻碍位错滑移使材料硬度提高。随着时效时间延长, θ' 逐渐消失, 并由 θ'' 亚稳相取代。当时效继续延长, θ' 相会产生粗化, 其结果使粒子间距增加, 硬化效果减弱, 从而使材料硬度下降。

2. 根据相图和硬度曲线, 可采用在 550°C 保温 1h (时间的长短视工件大小决定), 在均匀化后淬火, 然后在 190°C 时效 1 天。

北京科技大学

试 卷 七

2002 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：金属学

适用专业：材料加工工程、钢铁冶金、有色金属冶金、科学技术史

说 明：统考生做一至九题；单考生做一至六和十至十二题

一、名词解释（20 分，每个 2.5 分）

- | | | | |
|---------|----------|--------|--------|
| 1. 点阵畸变 | 2. 柏氏矢量 | 3. 相图 | 4. 过冷度 |
| 5. 形变织构 | 6. 二次再结晶 | 7. 滑移系 | 8. 孪生 |

二、画出立方晶系中（111）面、（435）面。写出立方晶系空间点阵特征。（10 分）

三、铸锭的一般组织可分为哪几个区域？写出其名称。并简述影响铸锭结晶组织的因素。（10 分）

四、画图并叙述形变过程中位错增殖的机制。（10 分）

五、写出菲克第一定律的数学表达式，并说明其意义。简述影响扩散的因素。（10 分）

六、简述形变金属在退火过程中显微组织、储存能及其力学性能和物理性能的变化。（10 分）

七、简述固态相变与液态相变的相同点与不同点。（10 分）

八、画出铁碳相图，标明相图中各特征点的温度与成分，写出相图中包晶反应、共晶反应与共析反应的表达式。（10 分）

九、分析再结晶过程中形核和长大与凝固过程中的形核和长大有何不同点。（10 分）

十、分析含碳量 0.12% 的铁碳合金的结晶过程（单考生做）。（10 分）

十一、简述铸锭的宏观偏析（单考生做）。（10 分）

十二、简述金属晶体中缺陷的类型（单考生做）。（10 分）

参 考 答 案

一、

1. 点阵畸变：在局部范围，原子偏离其正常的点阵平衡位置，造成点阵畸变。
2. 柏氏矢量：描述位错特征的一个重要矢量，它集中反映了位错区域内畸变总量的大小和方向；也是位错扫过后晶体相对滑动的量。
3. 相图：描述各相平衡存在条件或共存关系的图解；也可称为平衡时热力学参量的几何轨迹。
4. 过冷度：相变过程中冷却到相变点以下某个温度后发生转变，平衡相变温度与该实际转变温度之差称过冷度。
5. 形变织构：多晶形变过程中出现的晶体学取向择优的现象叫形变织构。
6. 二次再结晶：再结晶结束后正常长大被抑制而发生的少数晶粒异常长大的现象。
7. 滑移系：晶体中一个滑移面及该面上一个滑移方向的组合称一个滑移系。
8. 孪生：晶体受力后，以产生孪晶的方式进行的切变过程叫孪生。

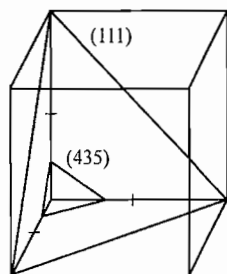


图 7-1 第二题解答图

二、立方晶系中 (111) 面、(435) 面如图 7-1 所示。立方晶系空间点阵特征是点阵参数有如下关系： $a = b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ 。也可用具有哪类对称元素表示，若有四个三次转轴，则对应立方点阵。

三、分为三晶区：激冷区、柱状晶区、中心等轴晶区。

影响铸锭结晶组织的因素：①液体过热度，越小越好；②凝固温度范围，越大越好，有利于枝晶的破碎；③温度梯度，越小越有利于等轴晶；④合金熔点低，温度梯度小；⑤搅拌或加孕育剂。

四、Frank-Read 源机制，如图 7-2 所示。滑移面上一个在 A、B 两点被钉扎的位错 AB，在应力 τ 作用下弓出（状态 2），弓出到 3 状态时，下方相邻部分反

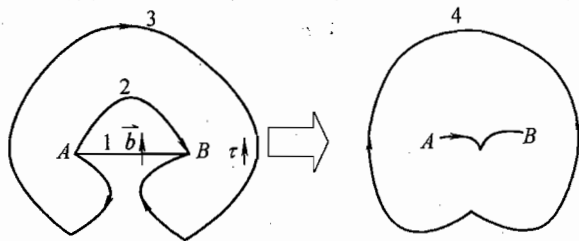


图 7-2 第四题解答图

号相吸, 并局部合并, 完成一次增殖过程放出一位错环 (状态 4)。在应力 τ 作用下, 继续重复前面 1~4 过程。

五、一维下, $J = -D \frac{dc}{dx}$; J : 扩散流量, 单位时间通过单位面积扩散的物质质量, $g/s \cdot m^2$; D : 扩散系数, m^2/s ; $\frac{dc}{dx}$: 浓度梯度, g/m^4 。其意义为物质扩散量与该物质的浓度梯度成正比, 方向相反。

影响扩散的因素: ①温度。满足 $D = D_0 e^{-Q/RT}$ 的关系, T 升高, D 增加; ②界面表面及位错。是扩散的快速通道; ③第三组元。可对二元扩散有不同影响, 如 Mo、W 降低 C 在 γ -Fe 中的扩散系数, Co、Si 加速 C 的扩散, Mn 影响不大; ④晶体结构。低对称性的晶体结构中, 存在扩散的各向异性, 如六方结构晶体, 平行与垂直于基面 (0001) 的扩散系数不同; ⑤熔点。同一合金系中, 同一温度下熔点高的合金中扩散慢, 熔点低的扩散快。

六、随退火温度的升高或时间延长, 出现亚晶合并长大, 再结晶形核及长大, 无位错的等轴再结晶晶粒取代长条状高位错密度的形变晶粒, 然后是晶粒正常长大。储存能逐渐被释放; 硬度及强度下降, 伸长率上升; 电阻降低, 密度提高。再结晶时各种性能变化都比回复时强烈得多。

七、相同点: 都是相变, 由形核、长大组成。临界半径, 临界形核功形式相同。转变动力学也相同。

不同之处: 形核阻力中多了应变能一项, 造成固态相变的临界半径及形核功增大; 新相可以亚稳方式出现, 存在共格、半共格界面, 特定的取向关系, 非均匀形核。

八、铁碳相图略。

包晶反应: $L(0.53\%C) + \delta\text{-Fe}(0.09\%C) \rightarrow \gamma\text{-Fe}(0.17\%C)$

共晶反应: $L(4.3\%C) \rightarrow \gamma\text{-Fe}(2.11\%C) + Fe_3C(6.69\%C)$

共析反应: $\gamma\text{-Fe}(0.77\%C) \rightarrow \alpha\text{-Fe}(0.02\%C) + Fe_3C(6.69\%C)$

九、凝固时形核的驱动力, 是新、旧相化学位差, 再结晶驱动力只是形变储存能。

凝固常是均匀形核; 再结晶形核在现有的形变不均匀区, 如晶界附近、切变带、形变带、第二相粒子周围。凝固长大时与母相不会有取向关系, 再结晶长大时可有特定的取向关系。

十、含碳 0.12% 的钢, 由液相冷却时, 先形成 δ 铁素体, 固液相分别按相图上的固、液相线成分变化, 到 1495℃ 包晶温度, 部分进行包晶反应; 新相 γ 奥氏体在已生成的 δ 铁素体上形核并

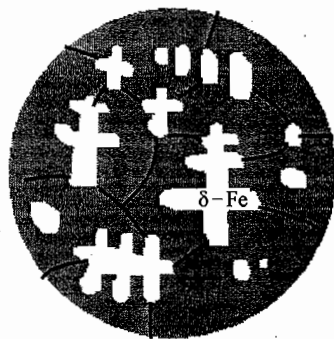


图 7-3 第十题解答图

向 δ 铁素体和液相中生长。反应后是两相组织 δ 铁素体 + γ 奥氏体, 见图 7-3。 δ 铁素体相对量为: $(0.17 - 0.12)/(0.17 - 0.09) = 62.5\%$ 。继续冷却得到单相奥氏体。

十一、宏观偏析分: 正常偏析、反常偏析和比重偏析。

正常偏析: 指按合金的分配系数 (设 $k_0 < 1$) 先析出的含溶质低, 后凝固的含溶质多。因铸锭尺寸大, 由表面到中心成分不均匀, 偏析出现在宏观尺度上, 称宏观偏析。

反常偏析: 仍遵守分配系数关系, 只是形成大量枝晶后, 富集溶质的液相会沿枝晶间的通道逆向回流到先凝固的铸锭表面附近, 造成由表面到中心成分分布的反常。

比重偏析: 是凝固时, 固相与液相比重不同, 而沉积或漂浮, 从而造成铸锭下端与上端成分的不均匀, 也是宏观尺度。

十二、按尺寸可分为: 点缺陷, 如溶质、杂质原子、空位; 线缺陷, 如位错; 面缺陷, 如各种晶界、相界、表面等; 体缺陷, 如孔洞、气泡等。体缺陷对材料性能是绝对有害的。

试 卷 八

2003 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：金属学

适用专业：科学技术史、冶金物理化学、钢铁冶金、有色金属、材料
加工工程

说 明：统考生做一至十一题；单考生做一至七、十二至十五题

一、名词解释 (30 分)

- | | |
|----------------|------------|
| 1. 刃型位错和螺型位错模型 | 2. 晶界与界面能 |
| 3. 同分凝固与异分凝固 | 4. 形变织构 |
| 5. 二次再结晶 | 6. 淬透性与淬硬性 |

二、简述二元系中共晶反应、包晶反应和共析反应的特点，并计算其各相平衡时的自由度。(12 分)

三、什么是点阵参数？正方晶系和立方晶系的空间点阵特征是什么？画出立方晶系中 (123) 的晶面。(12 分)

四、凝固过程中形核和长大与再结晶过程中形核和长大主要区别是什么？简述再结晶过程中核心的产生方式。(12 分)

五、简述菲克第一定律和菲克第二定律的含义，写出其表达式，并标明其字母的物理含义。(12 分)

六、简述晶界和晶粒大小对多晶体范性变形的作用与影响。(12 分)

七、什么是一次带状组织和二次带状组织？分析一次带状组织和二次带状组织形成的原因。(12 分)

八、画出 Fe-C 相图，标明 Fe-C 相图中各点的温度和含碳量。(12 分) (统考生做，单考生不做)

九、简述固态相变的一般特点。(12 分) (统考生做，单考生不做)

十、简述凝固过程的宏观特征，叙述凝固过程中晶体成长的机理。(12 分) (统考生做，单考生不做)

十一、什么是固溶体？影响固溶度的原因有哪些？固溶体与其纯溶剂组元相比，其结构、力学性能和物理性能发生了哪些变化？(12 分) (统考生做，单考生不做)

十二、列举三种增加凝固过程中核心数的方法，简要分析其增加核心数的原因。(12分)(单考生做，统考生不做)

十三、简述含碳量为 0.25% 钢的结晶过程和固态组织转变过程。(12分)(单考生做，统考生不做)

十四、简述连续脱溶和不连续脱溶的含义。(12分)(单考生做，统考生不做)

十五、根据缺陷相对于晶体尺寸和其影响范围的大小，缺陷可以分为哪几类？简述这几类缺陷的特征。(12分)(单考生做，统考生不做)

参 考 答 案

一、

1. 刃型位错和螺型位错模型：将晶体上半部切开，插入半个晶面，再粘合起来；这样，在相当于刃端部位为中心线的附近一定范围，原子发生有规则的错动。其特点是上半部受压，下半部受拉。这与实际晶体中的刃位错造成的情景相同，称刃型位错模型。同样，将晶体的前半部切开，以刃端为界使左右两部分沿上下发生一个原子间距的相对切变，再粘合起来，这时在已切动和未切动交界线附近，原子错动情况与真实的螺位错相似，称螺型位错模型。

2. 晶界与界面能：晶界是成分结构相同的同种晶粒间的界面。界面上的原子处在断键状态，具有超额能量。平均在界面单位面积上的超额能量叫界面能。

3. 同分凝固与异分凝固：凝固时不发生成分变化的称同分凝固；反之，凝固时伴随成分变化，称异分凝固。

4. 形变织构：多晶形变过程中出现的晶体学取向择优现象。

5. 二次再结晶：再结晶结束后正常长大过程被抑制而发生少数晶粒异常长大的现象。

6. 淬透性与淬硬性：淬透性指合金淬成马氏体的能力，主要与临界冷速有关，大小用淬透层深度表示。而淬硬性指钢淬火后能达到的最高硬度。主要与钢的含碳量有关。

二、共晶反应是：液相同时凝固出两个不同成分的固相，两固相相互配合生长，一般长成片层状。

共析与共晶相似，只是母相是固相，即一个固相同时生成另两个不同成分的固相。

包晶反应是：液相与一个固相反应生成另一个固相，新生成的固相包住原有的固相，反应需要固相中的扩散，速度较慢。

这三种反应出现时，自由度都是 0，即三相成分固定，温度也固定。

三、点阵参数是描述点阵单胞几何形状的基本参数,由六个参数组成,即三个边长 a 、 b 、 c 和它们之间的三个夹角 α 、 β 、 γ 。

正方晶系的点阵参数特征是 $a \neq b \neq c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ 。

立方晶系的点阵参数特征是 $a = b = c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ 。

立方晶系中 $(12\bar{3})$ 的晶面如图 8-1 所示。

四、凝固时形核和长大的驱动力是新、旧相化学位差,再结晶形核和长大的驱动力只是形变储存能。

凝固时的形核常为均匀形核;再结晶形核常在现有的形变不均匀区中,如晶界附近、切变带、形变带、第二相粒子周围;凝固长大时与母相不会有取向关系,再结晶长大时可能有一定的取向关系。

再结晶核心产生方式:① 原有晶界推移成核,也称应变诱导晶界迁移式形核;② 亚晶成核,即通过亚晶合并或长大形成新晶粒。

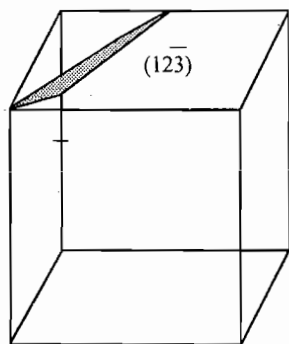


图 8-1 第三题解答图

五、菲克第一定律 $J = -D \frac{dc}{dx}$ 。 J : 扩散流量,即单位时间通过单位面积的物质量, $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$; D : 扩散系数, m^2/s ; $\frac{dc}{dx}$: 浓度梯度, g/m^4 。

菲克第二定律 $\frac{dc}{dt} = \frac{d}{dx} \left(D \frac{dc}{dx} \right)$ 。 $\frac{dc}{dt}$: 浓度随时间的变化率, $\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{s}$; $\frac{dJ}{dx}$: 流量的梯度, $\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{s}$ 。

六、多晶中,每个晶粒与周围相邻晶粒取向不同,滑移开始的早晚不同,滑移系数目也不同;晶粒间的协调是靠有足够的独立滑移系的开动来实现的,即某一晶粒在一特定力轴作用下,取向因子大的滑移系先开动,当相邻晶粒相接触的区域受周围晶粒的影响而不能随自己主滑移系开动进行形变时,可开动次生的、新的滑移系,以协调各种复杂的形变方式;FCC/BCC 结构都有 5 个独立滑移系,可实现任一种方式的形变。晶界两侧滑移面不平行,晶界一方面是位错运动的障碍,造成塞积和强化;同时要求晶界附近多系滑移的出现,以协调晶界两侧的形变。晶粒大小对形变的影响是:晶粒细小,整个晶粒可较形变均匀,不同的滑移系组合少;晶粒粗大时,形变过程中晶内不同区域,不能相互协调,要求不同的滑移系组合并开动,常常出现晶粒“碎化”,即一个大晶粒,随形变的进行“碎化”成几部分,不同部分内有不同的滑移系开动。

对性能的影响遵循 Hall-Petch 关系 $\sigma_s = \sigma_0 + Kd^{-1/2}$,即晶粒越细,晶界越多,晶界对运动位错阻碍越显著,提高强度幅度越大。

七、一次带状组织是凝固时形成枝晶,热轧后成带状而产生的;在 CuCl_2 浸

蚀下,黑色条带是枝晶干(含溶质少),白色条带常是富集杂质的枝晶间,也称原始带状。二次带状是固态转变的产物,在硝酸酒精浸蚀下,白色带状是先共析铁素体,黑色带状是珠光体,也称显微带状组织。只有在一次带状的基础上才会产生二次带状。这些带状都与元素的偏析和夹杂物的特殊分布有关。

八、略。

九、

①相变阻力中多了应变能一项。

②形核方面:非均匀形核,存在特定的取向关系,常为共格或半共格界面。

③生长方面:出现惯习现象,即有脱溶贯序;特殊/规则的组织形态,如片状、针状。

④有亚稳相出现以减少相变阻力。

十、凝固时宏观特征是:要有一定的过冷度,会放出明显的结晶潜热。

成长机理有三种:连续式成长、二维形核及借助台阶侧向生长、借螺旋位错生长。

十一、溶质原子以原子态溶入溶剂点阵中组成的单一均匀固体;溶剂的点阵类型被保留。

影响固溶度的因素有:

1. 原子尺寸因素。当溶剂、溶质原子直径尺寸相对差小于 $\pm 15\%$ 时,有大的代位溶解度。

2. 负电性因素。溶剂、溶质的负电性差越小溶解度越大,一般小于 $0.4 \sim 0.5$ 会有较大溶解度。

3. 电子浓度因素。有两方面的含义:一是原子价效应,即同一溶剂金属,溶质的原子价越高,溶解度越小;二是相对价效应,即高价溶质溶入低价溶剂时的溶解度高于相反的情况。

特点是:固溶体中有点阵畸变(强度、硬度会提高)而造成点阵常数变化;出现原子偏聚或有序化,甚至形成有序固溶体。

固溶体的结构变化:点阵畸变,点阵常数变化,偏聚及短程有序,甚至形成有序固溶体。力学性能变化:硬度、强度提高,塑性下降。物理性能变化:电阻加大,导电率下降。

十二、

①提高冷却速度从而加大了过冷度。相变驱动力加大,提高了形核率。

②加孕育剂。提供大量的非均匀形核地点,提高了形核率,降低了形核位垒。

③机械或电磁搅拌。将枝晶振碎增加核数目或加强热激活能量落,提高了形核率。

十三、如图 8-2 所示。由液相先凝固出 δ 铁素体，在 1495℃ 进行包晶反应，生成 γ 奥氏体；继续冷却，由剩余的液相再次析出 γ 奥氏体，然后变成单相奥氏体。冷至约 800℃，从 γ 奥氏体中析出先共析 α 铁素体，在 727℃ 进行共析反应，形成珠光体，最后得到铁素体加珠光体组织。

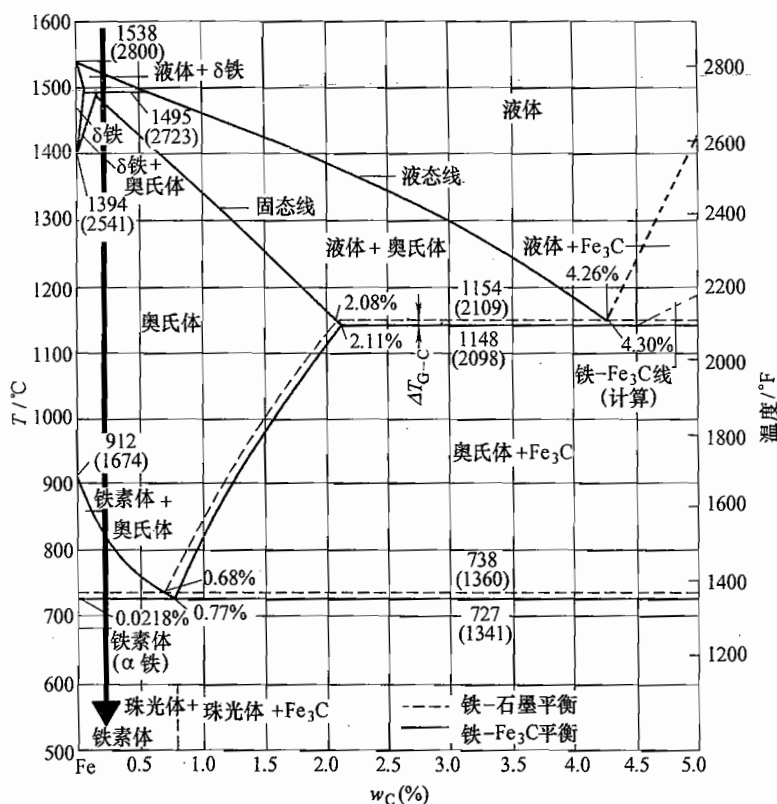


图 8-2 第十三题解答图

十四、连续脱溶：随新相生成，母相成分连续地由过饱和态转变到饱和态。

不连续脱溶：也称胞状脱溶，此时在母相和新生成的 α 相间存在一个界面，跨过界面母相由过饱和不连续地突变到饱和状态，点阵常数也不连续。

十五、有四类：

点缺陷：沿三个方向的尺寸很小，溶质原子、间隙原子、空位。

线缺陷：沿两个方向的尺寸很小，第三个方向上的尺寸很大，甚至可贯穿整个晶体，指位错。

面缺陷：沿一个方向上的尺寸很小，另两个方向上的尺寸很大，如晶界，相界。

体缺陷：在三个方向上的尺寸都较大，但不是很大，如第二相粒子，显微空洞。

试 卷 九

2004 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：金属学

适用专业：材料学、材料科学与工程、材料加工工程

说 明：统考生做一至十一题；单考生做一至八和十二至十四题

一、简述题 (4 分/小题, 共 40 分)

- | | |
|-------------|---------------------|
| 1. 滑移临界分切应力 | 2. 金属键 |
| 3. 中间相 | 4. 布喇菲 (Bravais) 点阵 |
| 5. 再结晶温度 | 6. 滑移系 |
| 7. 位错 | 8. 二次再结晶 |
| 9. 偏析 | 10. 马氏体相变 |

二、单相金属或合金各晶粒间的界面一般称之为晶界, 通常晶界又分为小角度晶界和大角度晶界两大类, 试问: 划分为两类晶界的依据是什么? 并讨论构成小角度晶界的结构模型。(10 分)

三、分别画出立方晶系晶胞内的(110)、(112)晶面和[110]、[111]晶向。(10 分)

四、讨论晶体结构和空间点阵之间的关系。(10 分)

五、什么是固溶体? 讨论影响固溶体溶解度的主要因素。(10 分)

六、分析和讨论冷加工金属或合金塑性变形后回复再结晶过程中组织和性能的变化特征。(10 分)

七、画出 Fe-Fe₃C 相图, 分析含碳量为 1.1wt% (重量百分比) 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。(20 分)

八、分析和讨论影响金属或合金中原子扩散的主要因素。(10 分)

九、以 Al-4.5%Cu 合金为例, 分析过饱和固溶体的脱溶分解过程 (脱溶贯序), 并讨论脱溶温度对脱溶贯序的影响。(10 分)

十、金属的固态相变与金属的结晶过程基本一样, 大多也包括形核和生长两个基本阶段, 但在固态相变过程中新、旧两相的比容不同, 使系统额外增加了应变能以及由相界面上的原子不匹配而引起的弹性应变能, 因此固态相变在许多方面与结晶过程有着显著的差异。试分析固态相变的一般特点。(10 分)

十一、写出所附 Au-Hf 体系相图 (图 9-1) 中的三相反应, 并划出虚线框内部分的相平衡关系局部扩大示意图。(10 分)

十二、分析固态相变和回复再结晶过程的驱动力。(10 分)

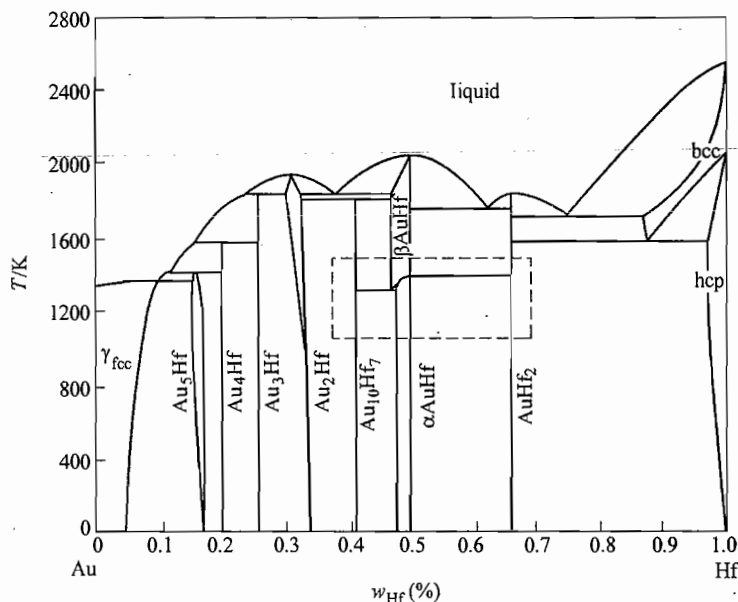


图 9-1 第十一题图

十三、叙述钢锭中常见的宏观组织缺陷, 消除或改善方法。(10 分)

十四、叙述常见的金属晶体中的内外界面。(10 分)

参 考 答 案

一、

1. 滑移临界分切应力: 滑移系开动所需的最小分切应力; 它是一个定值, 与材料本身性质有关, 与外力取向无关。

2. 金属键: 自由电子与原子核之间静电作用产生的键合力。

3. 中间相: 合金中组元之间形成的、与纯组元结构不同的相。在相图的中间区域。

4. 布喇菲点阵: 除考虑晶胞外形外, 还考虑阵点位置所构成的点阵 (或: 除考虑旋转对称性外, 还考虑平移对称性, 经有心化后构成的全部阵点)。

5. 再结晶温度: 形变金属在一定时间 (一般 1h) 内刚好完成再结晶的最低温度。

6. 滑移系: 晶体中一个可滑移面及该面上一个可滑移晶向合称一个滑移系。

7. 位错: 是晶体内的一种线缺陷, 其特点是沿一条线方向原子有规律地发

生错排；这种缺陷用一线方向和一个柏氏矢量共同描述。

8. 二次再结晶：再结晶结束后，正常长大过程被抑制而发生的少数晶粒异常长大的现象。

9. 偏析：合金中化学成分的不均匀性。

10. 马氏体相变：其过程遵循无扩散、切变方式的相转变。

二、依据是按界面两侧晶粒间的取向差， $< 15^\circ$ 的称小角度晶界， $> 15^\circ$ 的称大角度晶界。小角度晶界的结构模型是位错模型，比如对称倾转晶界用一组平行的刃位错来描述。

三、见图 9-2。

四、两者之间的关系可用“空间点阵 + 基元 = 晶体结构”来描述。

空间点阵只有 14 种，基元可以是无穷多种，因而构成的具体的晶体结构也是无穷多种。

五、溶质原子以原子态溶入溶剂点阵中而组成的单一均匀固体；溶剂的点阵类型被保留。

影响固溶度的因素有：

①原子尺寸因素。当溶剂、溶质原子直径尺寸相对差小于 $\pm 15\%$ 时，有利于大的代位固溶体溶解度；当两组元的直径相对差大于 41% 时，有利于高的间隙固溶体溶解度。

②负电性因素。溶剂、溶质的负电性差越小溶解度越大，一般小于 $0.4 \sim 0.5$ 会有较大溶解度。

③电子浓度因素。有两方面的含义：一是原子价效应，即同一溶剂金属中，溶质的原子价越高，溶解度越小；二是相对价效应，即高价溶质溶入低价溶剂时的溶解度高于相反的情况。

六、随退火温度的升高或时间延长，出现亚晶合并长大，再结晶形核及长大，无（或低密度）位错的等轴再结晶晶粒取代长条状高位错密度的形变晶粒，然后是晶粒正常长大。储存能逐渐被释放，特别是再结晶阶段释放的最显著；硬度及强度下降，伸长率上升；电阻降低，密度提高。再结晶时各种性能变化都比回复时强烈得多。

七、铁碳相图略。

1.1% C 的钢由液相冷却时先进入 L + γ 奥氏体两相区，形成枝晶或等轴状 γ 奥氏体，然后进入奥氏体单相区；继续冷却到 $\sim 760^\circ\text{C}$ ，沿晶界析出二次渗碳体，在 727°C 剩余的奥氏体转变为珠光体，最后的组织是珠光体 + 网状二次渗碳体，如图 9-3 所示。

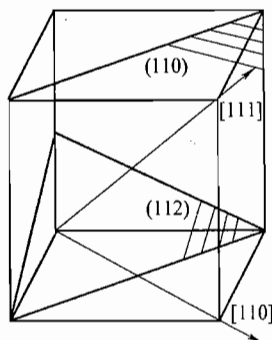


图 9-2 第三题解答图

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

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

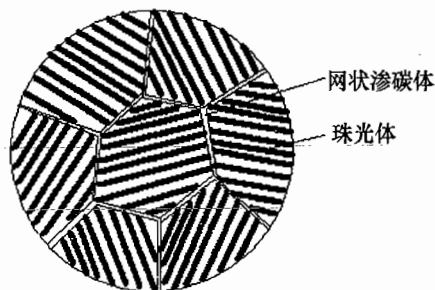


图 9-3 第七题解答图

八、影响扩散的因素有:

温度: 满足 $D = D_0 e^{-Q/RT}$ 的关系, 温度升高, 扩散加快。

界面、表面及位错: 它们是扩散的快速通道。

第三组元: 可对二元扩散有不同影响, 如 Mo、W 降低 C 在 γ -Fe 中的扩散系数; Co、Si 加速 C 的扩散; Mn、Ni 的影响不大。

晶体结构: 低对称性的晶体结构中, 存在扩散系数的各向异性, 如六方结构晶体, 平行与垂直于基面(0001)的扩散系数不同。

熔点: 同一合金系中, 同一温度下熔点高的合金中扩散慢, 熔点低的扩散快。

九、Al-4.5%Cu 合金固溶处理后, 在最佳时效温度 $\approx 150^\circ\text{C}$ 时效, 会出现脱溶贯序:

过饱和固溶体 \rightarrow GP 区 $\rightarrow \theta'' \rightarrow \theta' \rightarrow \theta$ 。

其中 GP 区是铜原子富集区; θ'' 、 θ' 是四方结构亚稳相, 圆盘状, 沿基体的 {100} 面析出, 具有共格/半共格界面, 与基体存在特定的取向关系; θ 是四方结构稳定相, 不规则形状。

提高时效温度, 脱溶加快, 但过饱和度减少, 相变驱动力减少, 可能导致直接析出平衡相 θ , 时效强化能力减弱; 时效温度过低则情况相反, 达到最佳性能的时间过长。

十、

①相变阻力中多了应变能一项。

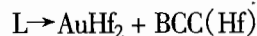
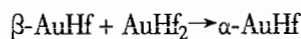
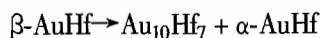
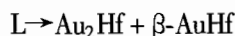
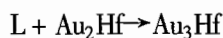
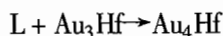
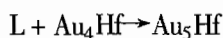
②形核方面: 非均匀形核为主; 具有特定的取向关系; 相界面常为共格或半共格的。

③生长方面: 具有惯习现象, 有特定的组织形态, 如片状、针状。

④有亚稳相。

十一、

$\text{L} + \text{Au}_5\text{Hf} \rightarrow \text{FCC}(\text{Au})$



虚线框内部分可能的相平衡关系局部扩大示意图 9-4。

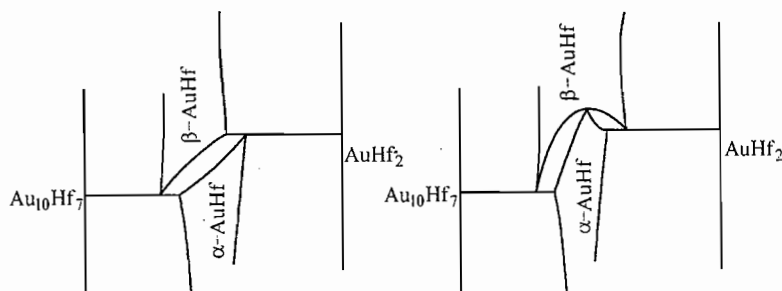


图 9-4 第十一题解答图

十二、固态相变的驱动力是新、旧两相间的自由能差，回复再结晶的驱动力是形变储能。

十三、宏观缺陷有：宏观偏析（如正常偏析、反常偏析、比重偏析）和带状组织以及缩孔、疏松、气泡等。严格讲，也包括三晶区的组织不均匀性。

宏观缺陷（化学不均匀性、物理不均匀性和组织不均匀性）往往是相互联系的，一般希望尽可能多而细的中心等轴晶，可采用加孕育剂、加大冷速、加强液体运动（如电磁搅拌、机械搅拌）等方法，细化晶粒，消除柱状晶，这样，与柱状晶/枝状晶区相伴随的宏观偏析和缩孔、气泡也就明显改善了。

十四、它们包括晶界、相界、表面、孪晶界、层错。

晶界是同种晶粒之间的交界面；相界是结构、成分不同的相间的交界面；表面是晶体与大气或外界接触的界面；孪晶界是发生孪生后产生的新界面，是特殊的大角晶界，可是共格的或半共格的；低能层错是单相晶体内因堆垛顺序反常变化后出现的新界面，也是低能界面，与孪晶界能量相近。

试 卷 十

2005 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：金属学

适用专业：材料学、材料科学与工程、材料加工工程

说 明：统考生做一至九题；单考生做一至六和十至十二题

一、晶体结构 (20 分)

1. 什么是晶面族？ $\{111\}$ 晶面族包含哪些晶面？
2. 面心立方结构金属的 $[100]$ 和 $[111]$ 晶向间的夹角是多少？ $\{100\}$ 面间距是多少？
3. 面心立方结构和密排六方结构金属中的原子堆垛方式和致密度是否有差异？请加以说明。

二、合金相 (15 分)

1. 解释间隙固溶体和间隙相的含义，并加以比较。
2. 为什么固溶体的强度常比纯金属高？

三、晶体缺陷 (15 分)

1. 晶体内若有较多的线缺陷（位错）或面缺陷（晶界、孪晶界等），其强度会明显升高，这些现象称为什么？强度提高的原因是什么？
2. 上述的两类缺陷是怎样进入晶体的？举例说明如何提高这些缺陷的数目？

四、相图热力学 (10 分)

利用图 10-1 的自由能-成分曲线说明，公切线将成分范围分成三个区域，各区域内哪些相稳定？为什么？

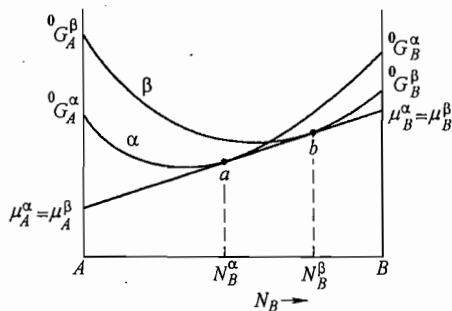


图 10-1 第四题图

五、凝固 (20 分)

1. 相同过冷度下比较均匀形核与非均匀形核的临界半径、临界形核功、临界晶核体积, 哪个大?

2. 合金凝固时的液/固界面前沿通常比纯金属液/固界面前沿更容易出现过冷? 为什么?

3. 典型的金属(如铁)和典型的非金属(如硅, 石墨)在液相中单独生长时的形貌差异是什么?

六、扩散 (20 分)

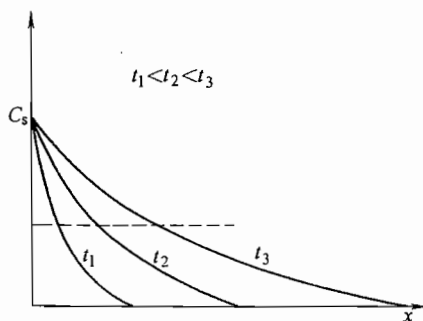


图 10-2 第六题第 1 小题图

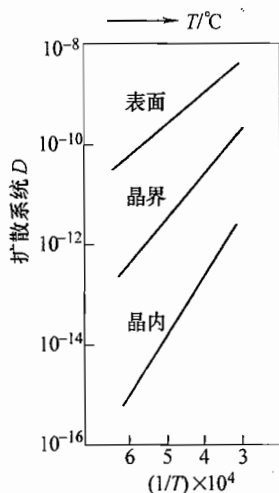


图 10-3 第六题第 2 小题图

1. 菲克第二定律的解之一是误差函数解, $C = A + B \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$, 它可用于纯铁的渗碳过程。若温度固定, 不同时间碳的浓度分布则如图 10-2。已知渗碳 1 小时后达到某一特定浓度的渗碳层厚度为 0.5mm, 问再继续渗碳 8 小时后, 相同浓度的渗层厚度是多少?

2. 图 10-3 为测出的钚在不同温度及以不同方式扩散时扩散系数与温度的关系, 从该实验数据图中能得出哪些信息?

七、形变 (20 分)

1. 常温下金属塑性变形有哪些主要机制? 它们间的主要差异是什么?

2. 面心立方金属铜在三种不同条件下的真应力-应变曲线如图 10-4。说明它们可能是在怎样的温度和应变速率下形成的? 为何有

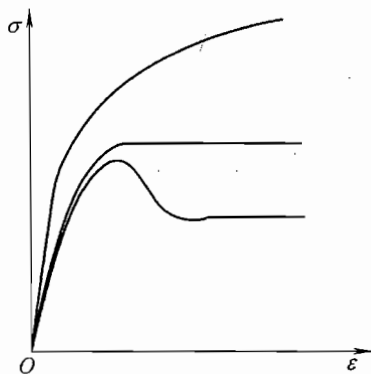


图 10-4 第七题第 2 小题图

这样的形状?

3. 什么是上、下屈服点效应 (在纯铁或低碳钢中)? 原因是什么?

八、再结晶 (20 分)

1. 给出金属发生再结晶的基本条件 (驱动力)。

2. 指出再结晶、结晶、固态相变之间的主要区别。

3. 图 10-5 示意画出一常见的再结晶形核机制, 请解释该地点优先形核的原因和形核过程。

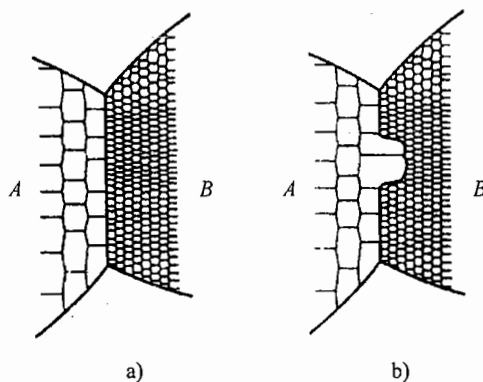
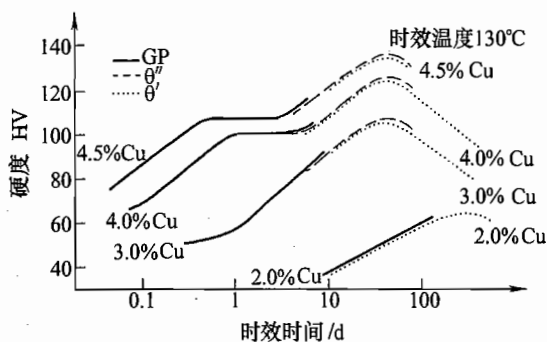
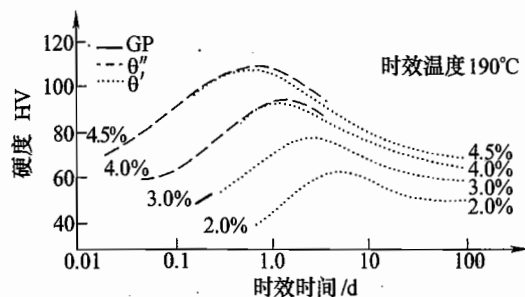


图 10-5 第八题第 3 个小题图



a)



b)

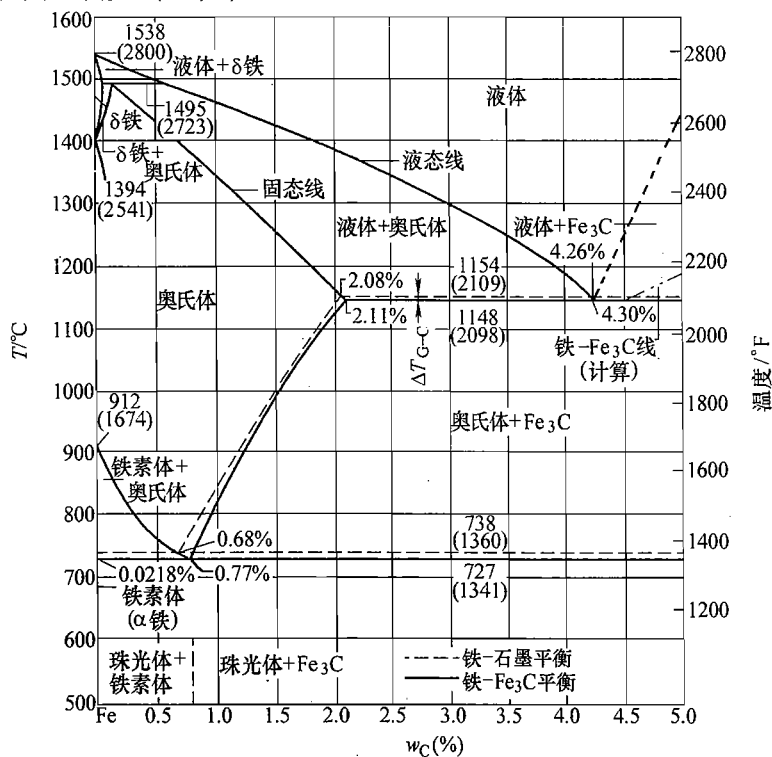
图 10-6 第九题图

4. 再结晶动力学公式为 $X = 1 - e^{-kt^n}$, 各参数表示的含义是什么? 以 $X-t$ 的关系作图, 曲线的形状大致是怎样的? 如何处理可得一条直线? 处理成直线有何用途?

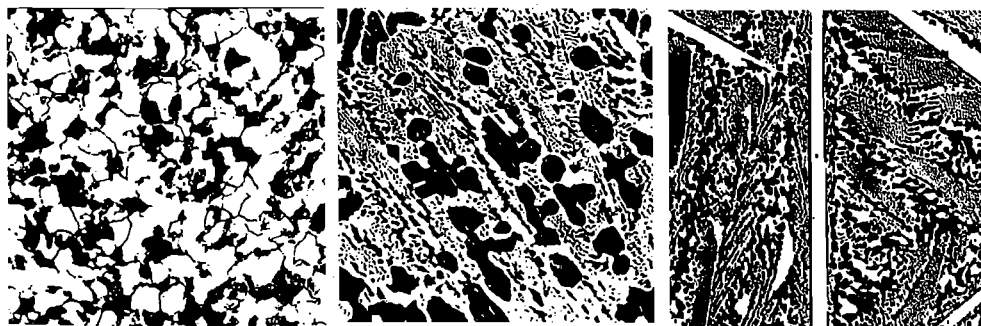
九、固态相变 (10 分)

图 10-6 为两组铝铜合金的时效强化曲线; 讨论成分变化及时效温度对力学性能 (这里是硬度值) 的影响, 分析可能的原因。

十、固态相变 (15 分)



a)



b)

c)

d)

图 10-7 第十二题图

1. 简述时效(强化)处理的工艺路线及原理。
2. 同素异晶转变、马氏体相变、脱溶转变有何主要区别?

十一、形变 (15 分)

简述单向压缩条件下,形变量、形变温度对金属组织及性能的影响(包括晶粒形状和位错亚结构的变化)?可用示意图表示。

十二、铁碳相图 (20 分)

1. 图 10-7a 为铁碳相图,图 10-7b、-c、-d 分别为 3 个不同成分(设为 0.45% C、3.4% C、4.7% C)的铁碳合金缓冷凝固组织(包括随后的固态相变、硝酸酒精浸蚀)。说明它们各是哪个成分的合金,为什么?

2. 分析图 10-7d 组织的凝固过程,并计算该合金中白色长条状组织的重量相对量(Fe_3C 含 6.69% C)。

参 考 答 案

一、

1. 晶体中原子或分子排列相同的晶面的组合称为晶面族。因对称关系,这些面往往不止一种。立方系 $\{111\}$ 晶面族包括 (111) 、 $(\bar{1}11)$ 、 $(1\bar{1}1)$ 、 $(11\bar{1})$ 四个。

2. 晶面间夹角 $\cos\varphi = 1/\sqrt{3}$; $\varphi = 54.7^\circ$ 。面间距 $d = a/2$ (a 为点阵常数)。

3. FCC 按 ABCABC 方式堆垛,而 HCP 按 ABABAB 堆垛;致密度无差异,都是 0.74。

二、

1. 前者为固溶体,保持溶剂的晶体结构,且溶解度很低;后者是中间相(尺寸因素化合物),且 A、B 原子数成比例。性能上有很大差异,前者韧、塑性好;后者硬,塑性差。共性是两者中的合金组元都在间隙位置,本身尺寸很小。

2. 因合金中两类原子尺寸不同,引起点阵畸变,阻碍位错运动,造成固溶强化。

三、

1. 称形变强化和晶界强化(或细晶强化)。原因是两类缺陷的增多都明显阻碍位错的运动,从而提高强度。

2. 位错的增多主要靠形变,通过萌生与增殖在晶粒内不断产生位错;晶粒细化可通过凝固时加非均匀形核剂或高的冷却速度获得,也可通过大形变,或再结晶,或相变的方法。

四、左侧 $A \sim N_B^{\alpha}$ 范围是 α 相稳定,因它的自由能最低;右侧 $N_B^{\beta} \sim B$ 范围是 β 相稳定,也因其自由能最低;两公切点之间 $N_B^{\alpha} \sim N_B^{\beta}$ 范围是 $\alpha + \beta$ 两相共存稳定,因任意一个单相存在时的自由能都不如它分解为成分为公切点处的 $\alpha + \beta$ 时

两相自由能的加权值（在公切线直线上）低。

五、

1. 临界半径相同；临界形核功是均匀形核时高；临界晶核体积也是均匀形核时大。

2. 合金界面前沿会出现组成过冷，即界面前沿溶质的富集提高了局部区域的熔点，所以更易出现过冷。

3. 因两者分别是粗糙型（铁）和光滑型界面（硅等），前者是外形均匀的等轴晶或枝晶，后者为规则多边形、有棱角形状。

六、

1. 因浓度 C 、扩散系数 D 都不变，有 $\frac{X_1}{X_2} = \sqrt{\frac{t_1}{t_2}}$ ，代入相应值得： $X_2 = 3X_1 = 1.5\text{mm}$ 。

2. 随温度升高，扩散速度加快；表面扩散最快，晶内扩散最慢。扩散系数 D 与温度 T 是指数关系，即该图是 $D = D_0 \exp(-Q/RT)$ 对数处理的结果；利用直线关系可求常数 D_0 和激活能 Q 。

七、

1. 主要形变机制是滑移和孪生；滑移产生的切变量是原子间距的整数倍，孪生产生的切变量是原子间距的一个分数；由此产生一系列其他方面的差异。答其他方面差异的也酌情赋分。

2. 有明显加工硬化的是在低温（或高应变速率）下变形；出现硬化、软化抗衡（动态回复）的是在中温（或中等应变速率）下变形；有一明显软化阶段（动态再结晶）的是在高温（或低应变速率）下变形。

3. 含 C、N 间隙原子的低碳钢形变时，滑移启动时的抗力较大（上屈服点），滑移进行时的抗力较小（下屈服点），在应力应变曲线上可明显看出。原因是间隙原子聚集在位错上（柯氏气团）钉扎了位错，出现上屈服点，位错一旦摆脱钉扎后便不受影响（对应下屈服点）。

八、

1. 要有一定的形变储存能，一定的温度。

2. 再结晶只是一种组织变化，没有结构变化，驱动力是形变储存能；结晶是从非晶态的液相、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。

3. 这是应变诱导晶界迁移机制；晶界两侧应变能不同，位错密度不同，形变储存能不同，造成高应变能的一侧被低应变能的一侧吃掉，形成新晶粒。

4. X 是再结晶分数， t 是时间， k 、 n 都是常数， k 主要与形核率和长大速度有关， n 主要和形核机制、地点和新相形状有关。以 $X-t$ 的关系作图，曲线的

形状是 S 或 σ 形状, 50% 转变量时转变速度最快。对数处理可得一条直线; 处理成直线可通过测不同时间的再结晶量求出 k 、 n 值, 了解更多的微观信息。

九、随铝中含铜量提高, 过饱和度加大, 脱溶驱动力加大, 析出速度加快, 硬度值增加。时效温度越高, 扩散速度加快, 析出加快, 但过饱和度减小, 脱溶驱动力也减小, GP 区或亚稳相可能不出现。时效强化主要靠 GP 区和 θ'' 相, 因两者很细小弥散, 有共格或半共格界面, 强化效果好。

十、

1. 经高温加热及快速冷却的固溶处理得到过饱和单相组织, 然后在一定温度和时间内时效到最高硬度/强度, 得到弥散、共格析出的强化相。

2. 同素异晶转变主要是纯组元固态下出现的相变, 没有成分变化, 短程扩散过程控制; 马氏体相变是无扩散、切变型相变, 在纯金属及合金中都会出现, 是界面过程控制的。脱溶出现在合金中, 有成分变化, 主要是长程扩散控制的。

十一、从侧面观察, 随形变量加大, 晶粒由等轴状变为长条形, 晶粒内部位错增多, 形成位错缠结、亚晶界或新的大角晶界; 强度、硬度提高, 塑性下降。形变温度提高, 晶粒变成长条状的速度变慢, 因热激活作用增强, 亚晶界加速形成, 亚晶尺寸趋于稳定, 甚至出现动态再结晶组织。强度提高和塑性下降的速度都变慢。

十二、

1. 图 10-7b 组织为 0.45% C 合金, 即亚共析钢, 因其由等轴铁素体 (白色) 和珠光体 (黑色) 组成。图 10-7c 组织为 3.4% C 合金, 即亚共晶白口铸铁, 因其有枝晶状珠光体 (黑色, 原奥氏体晶粒形状) 和变态莱氏体组成。图 10-7d 组织为 4.7% C 合金, 即过共晶白口铸铁, 因其由板条状白色一次渗碳体和变态莱氏体组成。

2. 液相冷却时, 先形成板条状一次渗碳体, 再形成共晶莱氏体, 冷至室温后莱氏体变为变态莱氏体。一次渗碳体的相对量为: $(4.7 - 4.3)/(6.69 - 4.3) = 16.7\%$ 。

试 卷 十 一

2006 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：金属学

适用专业：材料加工工程、材料学、材料科学与工程

说 明：统考生做一至八题；单考生做二、三、四（2）、五、六、七（1）、八至十一题

一、晶体结构（20分）

1.（以面心立方晶胞为例）描述晶体结构（晶胞）特征的常用参数有哪些？

2. 在体心立方晶胞中画出一个最密排方向并标明晶向指数；再画出过该方向的两个不同的低指数（简单）晶面，写出对应的晶面指数。这两个面和与其平行的密排方向构成什么关系？

二、合金相（20分）

1.（以金属为基的）固溶体与中间相的主要差异（如结构、键性、性能）是什么？

2. 纯金属中溶入另一组元后（假设不会产生新相）会带来哪些微观结构上的变化？这些变化如何引起性能上的变化？

三、晶体缺陷（20分）

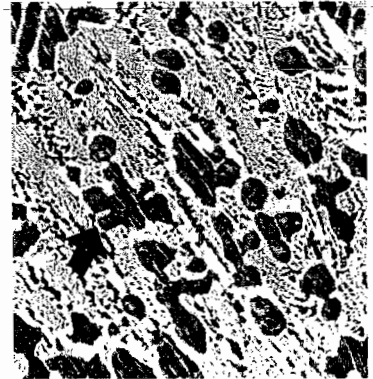
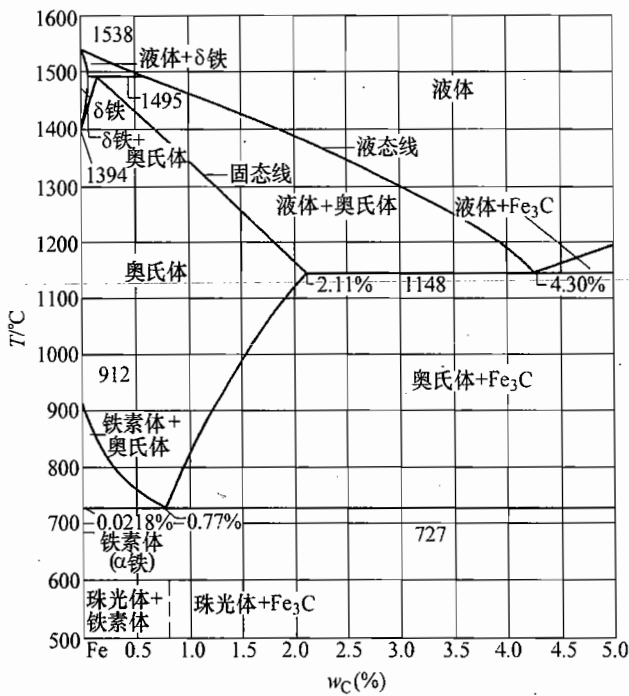
1. 点缺陷（如间隙原子或代位原子）和线缺陷（如位错）为何会发生交互作用？这种交互作用如何影响力学性能？

2. 举例或画图说明什么是小角晶界的位错模型？描述大角晶界有何模型？其含义是什么？

四、相图及凝固（30分）

1. 图 11-1 为铁碳相图和一个含 3.5% C 的铁碳合金缓冷凝固组织。说明或示意画出此合金由液相缓冷到共析温度以下的组织变化过程，并说明图 11-1b 的最终组织；计算图 11-1b 中箭头所指的树枝状组织的重量百分量；再分别计算共析转变后合金中铁素体和全部的珠光体组织重量百分量（ Fe_3C 含 6.69% C）。

2. 图 11-2 为一连铸坯低倍组织照片，说明各晶区的名称及成因；若想得到更多的等轴晶粒，可采用哪些方法或措施？



a)

b)

图 11-1 第四题第 1 小题图

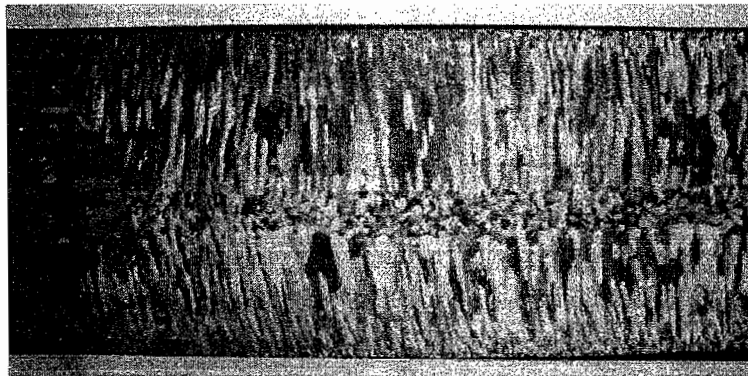


图 11-2 第四题第 2 小题图

五、扩散 (10 分)

扩散的微观机制有哪些? 一般情况下, 哪种机制扩散快一些? 一个经凝固而有微观非平衡偏析的合金, 采用哪些措施可加速扩散使合金均匀化? 描述该过程应用哪种扩散第二定律的解?

六、形变 (20 分)

1. 写出面心立方金属的一个具体的滑移系；多晶体变形时，在一定的形变量下，为何有的晶粒内是单系滑移而另一些晶粒内是多系滑移？为何有的晶粒内滑移量大而另一些晶粒内滑移量小？

2. 什么是形变织构？有哪几类？如何表示？

七、再结晶 (20 分)

1. 简述回复再结晶退火时材料组织和性能变化的规律；为何实际生产中常需要再结晶退火？

2. 再结晶形核地点有什么特点或特征？哪些地点可能是优先的形核地点？

八、固态相变 (10 分)

什么是连续脱溶？若一个过饱和固溶体在不同时效条件下分别得到如图 11-3 所示的规则形状和不规则形状析出物，该现象说明什么？形成两种组织的大致条件（或工艺）各是什么？

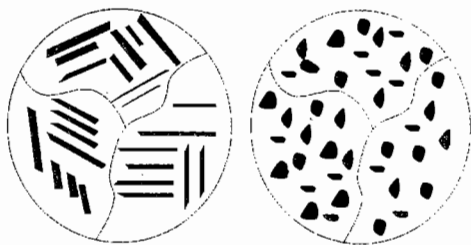


图 11-3 第八题图

九、晶体结构 (20 分)

1. (以体心立方晶胞为例) 描述晶体结构 (晶胞) 几何特征的常用参数有哪些？

2. 在面心立方晶体结构晶胞中画出一个最密排方向并标明晶向指数；再画出过该方向的两个不同的低指数 (简单) 晶面，写出对应的晶面指数。这两个面和与其平行的密排方向构成什么关系？

十、相图及凝固 (20 分)

参照图 11-1a (第四题) 提供的铁碳相图，说明并示意画出含碳 1.3% 的铁碳合金由液相缓冷到共析温度以下的组织变化过程；计算该合金二次渗碳体的最大重量百分量；再分别计算共析转变后合金中铁素体和珠光体组织重量百分量。

十一、再结晶 (10 分)

再结晶完成后的晶粒长大过程中，晶粒的平衡形貌 (二维条件下) 是直的六边形；多于六边的晶粒将吞并少于六边的晶粒而长大。解释原因。

参 考 答 案

一、

1. FCC 晶胞中的原子个数 4, 密排面 $\{111\}$ 及密排方向 $\langle 110 \rangle$, 配位数 12, 原子半径 $\sqrt{2}a/4$; 间隙位置 (八面体间隙在体心及等效位置) 及个数 4, 堆垛顺序 $ABCABC$, 致密度 0.74。

2. 如图 11-4, 构成晶带关系。

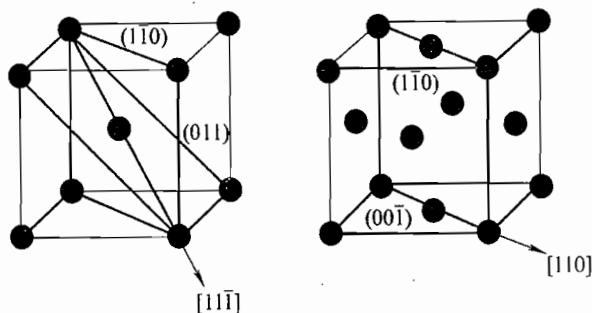


图 11-4 第一题第 2 小题解答图

二、

1. 固溶体保持纯金属的晶体结构, 中间相的结构一般与两组元的结构都不同; 固溶体原子间以金属键为主, 中间相以共价键及离子键为主; 固溶体塑、韧性好, 中间相的强度高, 韧性较差。

2. 引起点阵畸变, 点阵常数会改变; 会产生局部偏聚或有序, 甚至出现超结构。因固溶强化使强度提高, 塑性降低; 电阻一般增大。

三、

1. 点缺陷产生畸变, 使局部能量提高, 附近有弹性应变场; 位错也是如此, 但位错周围不同位置应力场状态不同, 有的为压应力, 有的为拉应力; 点缺陷会聚集到位错上使应变能降低, 使系统的能量下降, 吸附溶质的位错是一种稳定组态; 此时位错被钉扎而难以运动, 使强度提高, 会产生上下屈服点效应。

2. 小角晶界可看成是由大量的、两侧原子完全对应/匹配的好区和一组平行或相互垂直的位错组成, 取向差完全是靠位错产生的; 晶界能是位错能量的加和。大角度晶界模型有非晶模型、小岛模型、重合位置点阵模型, 后者的含义是特殊的大角晶界内一部分原子同属界面两侧点阵, 重合点本身构成一超点阵, 晶界过其密排面时能量较低。

四、

1. 液相冷却时, 先形成先共晶奥氏体枝晶, 剩余的液相进行共晶形成莱氏体, 凝固完毕。继续冷却时奥氏体枝晶周围析出二次渗碳体, 到共析温度后, 奥氏体转变为珠光体, 最后得到枝晶状分布的珠光体和变态莱氏体。

箭头所指的是枝晶状珠光体, 它是由奥氏体枝晶转变来的, 其相对量为:

$$w_{\text{奥氏体}} = (4.3 - 3.5) / (4.3 - 2.1) \times 100\% = 36.36\%$$

严格计算时还应扣除二次渗碳体, 即:

$$w_{\text{奥氏体}} - w_{\text{奥氏体}} \times (2.1 - 0.77) / (6.69 - 0.77) = 36.36\% - 8.17\% = 28.19\%$$

$$w_{\text{铁素体}} = (6.69 - 3.5) / (6.69 - 0.0218) \times 100\% = 47.84\%$$

$$w_{\text{珠光体}} = (6.69 - 3.5) / (6.69 - 0.77) \times 100\% = 53.89\%$$

2. 该照片显示出激冷区、柱状晶区和粗等轴晶区。因铸模温度低造成激冷而形成细等轴晶区; 因正的温度梯度和固定的散热方向而形成平行的柱状晶区; 因中心液相区内的过冷或冲刷过来的碎枝晶而独立形核形成中心粗等轴晶。

加强电磁或机械搅拌, 加入非均匀形核剂或孕育剂, 预热钢模快冷, 可扩大等轴晶区。

五、扩散的微观机制主要有间隙机制和代位机制。按间隙机制扩散时更快, 因间隙原子尺寸小, 又不需空位的存在。可通过加热退火、形变后再退火、高能粒子辐射提高空位浓度加强扩散 (但不经济不实用)。用正弦解可描述扩散时的浓度分布。

六、

1. 如 (111) $[\bar{1}10]$; 这是形变的不均匀性; 晶粒中某一滑移系相对于力轴的取向因子大时先滑移开动, 取向因子小时滑移开动, 所以各晶粒的形变量不同; 硬取向力轴引起多系滑移, 如 $\langle 111 \rangle$ 、 $\langle 100 \rangle$ 、 $\langle 110 \rangle$ 方向, 软取向力轴对应单系滑移, 如 $\langle 123 \rangle$ 方向。

2. 形变过程导致晶粒发生转动, 最后各晶粒内的某些晶向趋于平行, 这种因形变而导致取向择优称为形变织构。织构分为板织构和丝织构; 板织构表示为 $\{HKL\} \langle UVW \rangle$, 表示经轧制变形后, 晶粒的 $\{HKL\}$ 面转向平行于轧面, 晶粒的 $\langle UVW \rangle$ 方向转到平行于轧向。丝织构表示为 $\langle UVW \rangle$ 。答轧制织构、拔丝织构也得分为。

七、

1. 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、韧性提高，密度提高。这些过程在再结晶阶段比回复阶段更显著。材料不断的塑性变形造成强烈的加工硬化，难以继续加工；同时，形变组织不稳定，韧性、塑性差，使用性能不好；再有，强的形变组织的形成也是不希望的。

2. 局部高的位错密度/形变储存能，或有大的位错密度差异；高迁移率大角晶界附近。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。

八、脱溶均匀地在晶内进行，基体成分在脱溶时连续平缓地由过饱和状态变为饱和状态，这种脱溶称为连续脱溶。所示图说明有强烈的应变能或界面能的阻力作用，析出相形态可控制。左图说明新相与基体有特定的取向关系，可能是亚稳相；右图一般不存在特定的取向关系，多为稳定相。

左图组织可能在较低温度时效，或稍高温短时效得到；右图可能为高温时效，或低温长时间过时效得到。

九、

1. BCC 晶胞中的原子个数 2，密排面 $\{110\}$ 及密排方向 $\langle 111 \rangle$ ，配位数 $8+6$ ，原子半径 $\sqrt{3}a/4$ ；间隙位置（八面体间隙在面心及等效位置）及个数 6，致密度 0.68。

2. 见前面第一题第 2 小题答案。

十、液相冷却时，先形成先共晶奥氏体枝晶或等轴晶，直至凝固完毕。继续冷却时奥氏体枝晶无变化，到渗碳体在奥氏体的溶解度曲线后，沿晶界析出少量二次渗碳体。到共析温度后，剩余的奥氏体转变为珠光体，最后得到珠光体和少量网状渗碳体。

网状二次渗碳体的最大重量百分量：

$$w_{\text{渗碳体}} = (1.3 - 0.77) / (6.69 - 0.77) \times 100\% = 8.95\%$$

共析转变后合金中铁素体重量百分量：

$$w_{\text{铁素体}} = (6.69 - 1.3) / (6.69 - 0.0218) \times 100\% = 80.83\%$$

珠光体组织重量百分量：

$$w_{\text{珠光体}} = (6.69 - 1.3) / (6.69 - 0.77) \times 100\% = 91.05\%$$

十一、晶粒呈直六边形且两边界成 120° 夹角时，各界面张力平衡，晶界稳定，如图 11-5a 所示；若晶粒呈直七边形，则外角小于 120° 而造成过大的向外的界面张力合力，从而使三叉晶界结点 A 向晶外移动到 B，以保持结点处的界面张力平衡到保持 120° 的夹角关系；其结果使相邻两侧晶界为向外凹的弯曲界面，产生向外的压应力并向外迁移，从而使该晶粒 1 变大，2、3 晶粒缩小，如图 11-5b、c 所示。少于六边晶粒的变化可类似讨论。

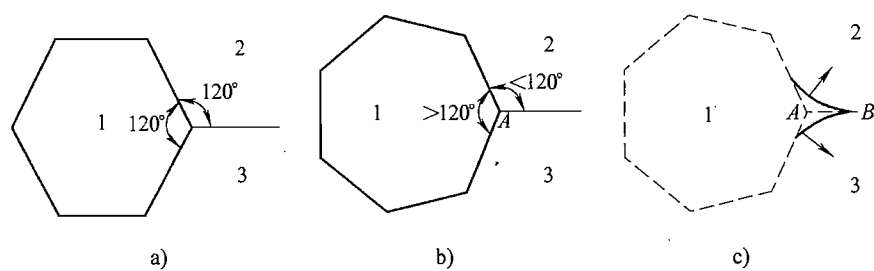


图 11-5 第十一题解答图

北京工业大学

试 卷 十 二

2002 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料学

一、名词解释 (12 分, 每个 2 分)

- | | | |
|----------|---------|-----------|
| 1. 肖特基缺陷 | 2. 上坡扩散 | 3. 同质异构体 |
| 4. 重心法则 | 5. 惯习面 | 6. 重合位置点阵 |

二、填空 (10 分, 每个空 0.5 分)

1. 最紧密堆积的晶体结构有两种：一种 (1)，每个晶胞中有 (2) 个原子；另一种是 (3)，每个晶胞中有 (4) 个原子。
 2. 金刚石结构中，碳是 (5) 链连接，配位数为 (6)。
 3. 螺位错线与柏氏矢量的位置关系是 (7)，刃位错线与柏氏矢量的位置关系是 (8)，位错线与柏氏矢量斜交的位错为 (9)。
 4. 固态相变的驱动力是 (10)，而阻力是 (11) 和 (12)。
 5. 在 $A-B-C$ 三元系的成分三角形中，成分点位于平行于 AB 边的直线上的所有合金其 (13) 组元的含量为定值。
 6. 在拉伸单晶时，滑移面转向与外力轴成 (14) 角度时最易滑移。
 7. 在二元系中，在一定的温度下所发生的转变 $L_1 = L_2 + \alpha$ 叫做 (15) 转变。
 8. 区域提纯依据的原理是 (16)。
 9. 金属材料常用的强化手段有 (17)、(18)、(19) 和 (20)。
- 三、判断正误 (8 分, 每题 1 分) 你认为正确的画“√” 不正确的画“×”。
1. 两侧晶粒位相差小于 2° 的称为大角度晶界。
 2. 刃位错和螺位错都有攀移和滑移运动。
 3. 扩散温度愈高，愈有利于扩散进行。
 4. 热塑性塑料和热固性塑料都可以重复使用。
 5. 由扩散考虑，与大角度晶界迁移率相比，小角度晶界的迁移率较低。

图 12-1 第九题图

标准答案

一、

1. 热平衡状态下, 离位原子迁移到外表面而形成的空位缺陷。
2. 在化学位梯度的推动下, 溶质由浓度低的地方向浓度高的地方扩散。
3. 化学组成相同由于热力学条件不同而形成的不同晶体结构。
4. 处于三相平衡的合金, 其成分点必位于共轭三角形的重心位置。
5. 固态相变时, 新相往往在母相的一定晶面开始形成, 这个晶面称为惯习面。
6. 设想两个全同而且彼此重合的点阵 L_1 和 L_2 , 令 L_2 相对于 L_1 作旋转或平移操作后, 两点阵处于重合位置的点阵构成新的周期性超点阵。

二、

- (1) ABC ; (2) 4; (3) AB ; (4) 2(或 6); (5) 共价; (6) 4; (7) 平行; (8) 垂直; (9) 混合位错; (10) 新旧相自由能差; (11) 界面能; (12) 应变能; (13) C ; (14) 45° ; (15) 偏晶转变; (16) 固溶体定向凝固时溶质再分布(选分结晶); (17) 固溶强化; (18) 细晶强化; (19) 第二相强化; (20) 加工硬化。

三、

1. \times ; 2. \times ; 3. \checkmark ; 4. \times ; 5. \checkmark ; 6. \times ; 7. \checkmark ; 8. \times 。

四、ZnO 结构如图 12-2 所示。

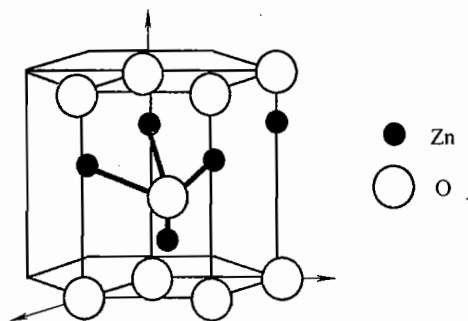


图 12-2 第四题解答图

锌填充的是负离子堆积的四面体间隙。晶胞中有 2 个 ZnO “分子”, 有 4 个四面体空隙, 锌占据了其中的一半。

五、几何条件: 反应后 $\vec{b}_2 + \vec{b}_3 = \frac{a}{6} [12\bar{1}] + \frac{a}{6} [211] = \frac{a}{6} [330] = \frac{a}{2} [110]$

反应前 $\vec{b}_1 = \frac{a}{2} [110]$

几何条件满足

能量条件：反应后

$$\begin{aligned} |\vec{b}_2|^2 + |\vec{b}_3|^2 &= \frac{a^2}{6^2} [1^2 + 2^2 + (-1)^2] + \frac{a^2}{6^2} [2^2 + 1^2 + 1^2] \\ &= \frac{a^2}{6} + \frac{a^2}{6} = \frac{a^2}{3} \end{aligned}$$

$$\text{反应前 } |\vec{b}_1|^2 = \frac{a^2}{2^2} (1^2 + 1^2) = \frac{a^2}{2}$$

能量条件满足

位错反应可以进行。

六、
$$c(x, t) = c_1 + (c_s - c_1) \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right)$$

据题意 $c(x_1, t_1) = c(x_2, t_2) = c_s$, c_1 为定值

所以
$$\operatorname{erf} \frac{x_1}{2\sqrt{Dt_1}} = \operatorname{erf} \frac{x_2}{2\sqrt{Dt_2}}$$

所以
$$\frac{x_1}{2\sqrt{Dt_1}} = \frac{x_2}{2\sqrt{Dt_2}} \quad \frac{x_1}{\sqrt{t_1}} = \frac{x_2}{\sqrt{t_2}}, \quad \frac{0.4}{\sqrt{3}} = \frac{0.8}{\sqrt{t_2}}$$

$$t_2 = \left(\frac{0.8}{0.4} \times \sqrt{3} \right)^2 \text{ h} = 12 \text{ h}$$

故该人的计划不正确。

七、调幅分解是固溶体的一种特殊形式，通过扩散偏聚机制由一种固溶体分解成结构与母相相同而成分不同的两种固溶体。

发生调幅分解的条件：二元合金相图有固溶度间隙的合金，成分自由能曲线有 $\frac{\partial^2 G}{\partial x^2} < 0$ 的范围，温度足够高，溶质原子可以进行扩散。（自由能下降足够克服梯度能和应变能。这一点不答不扣分）。

调幅组织呈有周期性的图案状，弥散度大，分布均匀，有较高的连通性。

八、晶界迁移驱动力为：变形储藏能和晶界曲率造成的晶界两侧的化学势差。影响晶界迁移率的主要因素：①溶质原子；②第二相颗粒；③温度；④晶界两侧晶粒位向。

九、

1. 结合图 12-3a，合金 n 冷却到与液相面相交温度 (t_1) 开始结晶出初晶 B ，后 B 增多，随温度下降，液相成分沿 Bn 延长线变化，当液相成分达到 g 点 (t_2 时)，开始发生 $L \rightarrow B + C$ 。温度再降低，($B + C$) 增多， L 相成分沿 E_2E 变化。当 L 相成分达到 E 点 (t_3 时)，发生 $L \rightarrow A + B + C$ 共晶转变，共晶转变后温度降低，组织不变化。

2. 不同阶段的组织示意于图 12-3b。

相组成物:

$$w_A = \frac{BH}{AB}, w_B = \frac{AK}{AB}, w_C = \frac{HK}{AB}$$

组织组成物:

$$w_B = \frac{ng}{gB} \quad w_{(A+B+C)} = \frac{nm}{Em} \quad w_{(B+C)} = 1 - w_B - w_{(A+B+C)}$$

3. Bb 变温截面示意于图 12-3c。

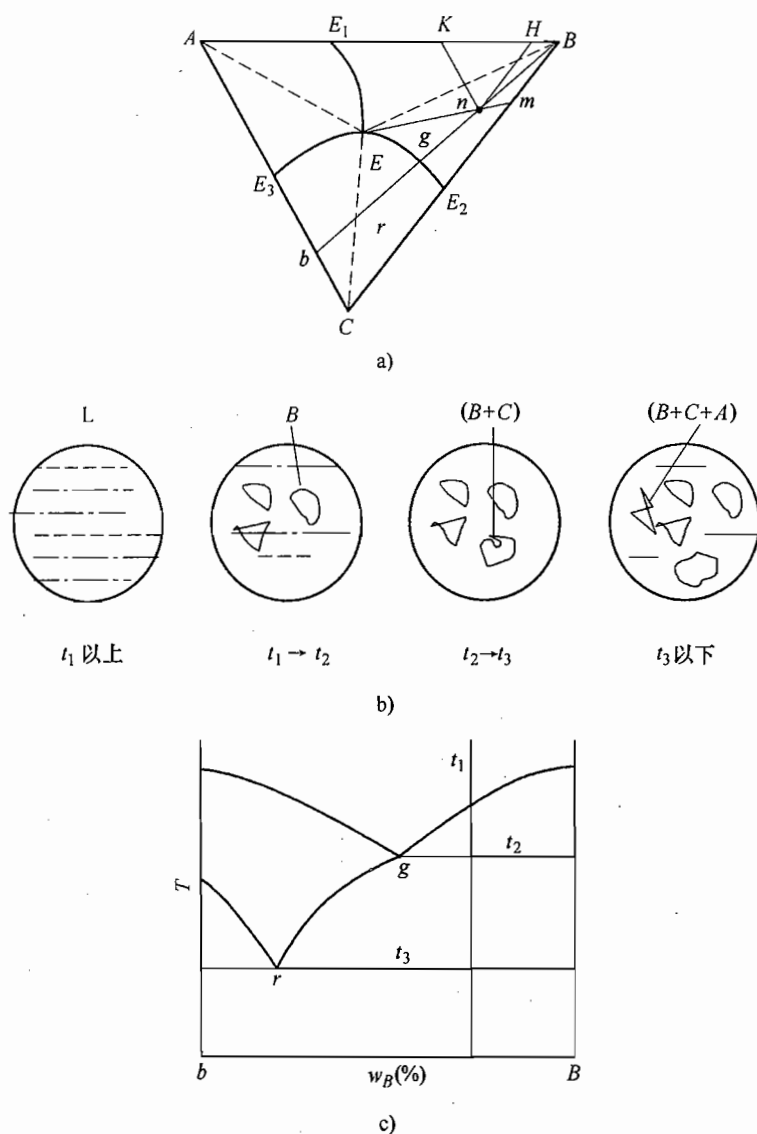


图 12-3 第九题解答图

试 卷 十 三

2003 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料学

一、名词解释 (20 分, 每个 2 分)

1. 范德华键 2. 晶界 3. 位错攀移 4. 固溶体 5. 结线
6. 共析转变 7. 成分过冷 8. 柯肯达尔效应 9. 惯习面 10. 多滑移

二、填空 (20 分, 每个空 1 分)

1. 在离子晶体结构中, 正负离子构成 (1), 正负离子间的距离取决于 (2), 配位数取决于正负离子的 (3)。
2. 高分子链中由于 (4) 而产生的分子在空间的不同形态称为构象, 高分子能够改变构象的性质称为 (5)。
3. 形成置换固溶体的影响因素有 (6)、(7)、(8) 和 (9)。
4. 扩散系数与扩散激活能和扩散温度的关系表达式是 (10)。
5. 马氏体相变的两个基本特点是 (11) 和 (12)。
6. 常用的强化金属材料的方法有: (13)、(14)、(15) 和 (16)。
7. 典型铸锭组织通常有 (17)、(18) 和 (19)。
8. 脱溶粒子粗化的驱动力是 (20)。

三、判断正误 (共 10 分, 每小题 1 分)

1. 点缺陷是热力学稳定的缺陷, 在一定温度下晶体中存在一定数量的平衡缺陷, 又称为本征缺陷。
2. 碘化铯晶体结构中, 碘占据立方体角顶位置, 铯占据体心位置, 所以其结构类型为体心格子。
3. 结构简单、规整度高、对称性好的高分子不容易结晶。
4. 奥氏体的溶碳能力之所以比铁素体高是因为奥氏体晶体间隙大。
5. 匀晶转变发生在液态完全互溶固态完全不互溶的系统中。
6. 三元系相图中, 在共晶温度点的自由度为 0。此时是三相平衡。
7. 非自发形核时仍然需要结构起伏、成分起伏和能量起伏。
8. 在扩散过程中溶质原子总是由高浓度处向低浓度处迁移。
9. 晶体材料的屈服强度 σ_s , 随着拉力轴相对于晶体取向的改变而改变。

10. 一般来说, 在固态相变时, 母相中的晶体缺陷可以促进新相的形成。

四、(8分) 画出: 体心立方堆积的原子密排面 $(\bar{1}10)$ 和原子密排方向 $[11\bar{1}]$; 六方紧密堆积的原子密排面 (0001) 和原子密排方向 $[11\bar{2}0]$ 。

五、(8分) 面心立方晶体中全位错 b_1 是否可以分解为不全位错 b_2 、 b_3 ? 已知

$b_1 = \frac{a}{2}[\bar{1}10]$, $b_2 = \frac{a}{6}[\bar{1}2\bar{1}]$, $b_3 = \frac{a}{6}[\bar{2}11]$, 写明理由。

六、(12分) Fe-Fe₃C 相图如图 13-1 所示。

1. 分析含碳量为 0.65% 成分的合金平衡冷却过程, 说明室温时组织组成和相组成。

2. 确定室温组织组成和相组成的相对含量。

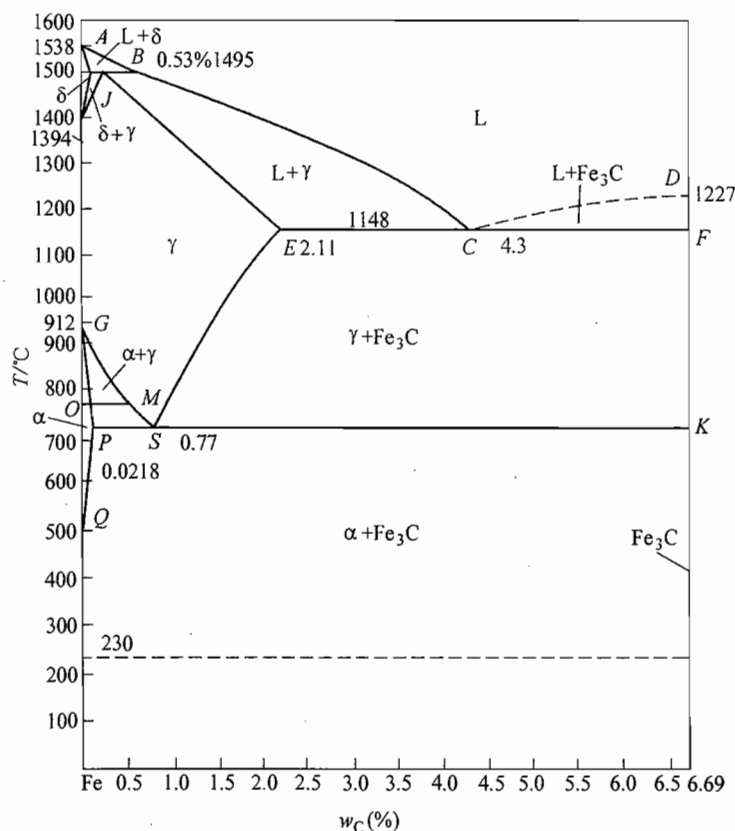


图 13-1 第六题图

七、(12分) 已知 GaAs 的密度为 5.307g/cm^3 , Ga 和 As 的原子量分别为 69.72 和 74.92, 其晶体结构为立方 ZnS 型, 求 GaAs 的晶胞参数。

八、(12分) Pb-Cd-Sn 三元相图如图 13-2 所示。

1. 找出Pb(29%)-Cd(39%)-Sn(32%)的位置 M 。
2. 判断 M 的熔点。
3. 写出 M 的析晶过程。
4. 计算组成为 M 的物质冷却至 143°C 液相含量。

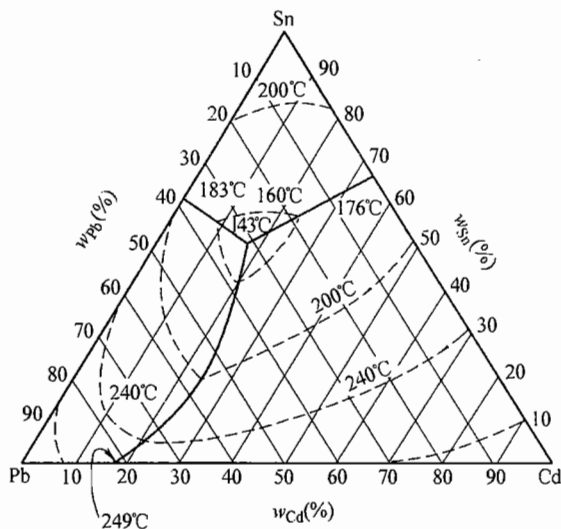


图 13-2 第八题图

九、(12分) 欲将一批齿轮进行渗碳，每炉装 500 件。在 900°C 渗 10 小时可以达到规定的深度。假定在 900°C 渗碳每炉每小时生产成本为 1000 元，而在 1000°C 渗碳为 1500 元。问在哪一温度渗碳成本较低？已知 $Q = 32900\text{cal/mol}$ ， $R = 1.987\text{cal}$ 。

十、(12分) 以位错理论说明纯金属冷变形强化的原因。如何完全消除加工硬化？说明所用的热处理方法、发生的变化及大致工艺参数。

十一、(12分) 什么是粗糙界面和光滑界面？它们对晶体生长方式和形态有何影响？

十二、(12分) 说明片状马氏体与板条马氏体在金相组织、立体形态、亚结构和力学性能方面的区别。

标准答案

一、

1. 范德华键：由瞬间偶极矩和诱导偶极矩产生的分子间引力所构成的物理键。

2. 晶界：在两个晶粒接触区间原子错排的区域。
3. 位错攀移：刃位错垂直于滑移面的运动。
4. 固溶体：外来组元进入晶体结构，占据主晶相质点位置一部分或间隙位置一部分，仍保持一个晶相，这种晶体称为固溶体。
5. 结线：两平衡相成分点之间的连线。
6. 共析转变：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共析转变。
7. 成分过冷：结晶时由于固相和液相成分的再分布而引起的固-液界面前方附近液相中产生过冷区。这一现象称之为成分过冷。
8. 柯肯达尔效应：在置换固溶体中由于两组元的原子以不同速率相对扩散而引起标记面漂移的现象。
9. 惯习面：固态相变时新相往往在母相的一定晶面上开始形成，这个晶面称为惯习面。
10. 多滑移：当外力在几个滑移系上的分切应力相等并同时达到了临界分切应力时，产生同时滑移的现象。

二、

(1) 配位多面体；(2) 正负离子半径和；(3) 半径比；(4) 单键内旋转；(5) 柔顺性；(6) 离子尺寸；(7) 晶体结构类型；(8) 电负性；(9) 电子浓度因素；(10) $D = D_0 \exp(-Q/RT)$ ；(11) 无扩散型相变；(12) 共格切变；(13) 细晶强化；(14) 固溶强化；(15) 弥散强化；(16) 形变；(17) 表面细晶区；(18) 柱状晶区；(19) 中心等轴晶区；(20) 不同质点间的吉布斯自由能差。

三、

1. (✓)；2. (×)；3. (×)；4. (✓)；5. (×)；6. (×)；7. (✓)
8. (×)；9. (✓)；10. (✓)。

四、如图 13-3 所示。

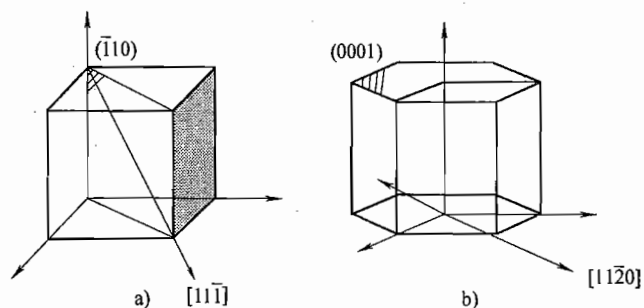


图 13-3 第四题解答图

五、

几何条件: $\vec{b}_1 = a/2 \cdot [\bar{1} 1 0]$

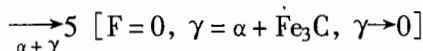
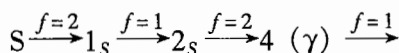
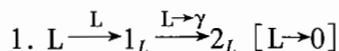
$$\vec{b}_2 + \vec{b}_3 = a/6 \cdot [\bar{3} 3 0] = a/2 \cdot [\bar{1} 1 0]$$

能量条件: $|\vec{b}_1|^2 = (a/2 \sqrt{1+1+0})^2 = a^2/2$

$$|\vec{b}_2|^2 + |\vec{b}_3|^2 = (a/6 \sqrt{1+4+1})^2 + (a/6 \sqrt{4+1+1})^2 = a^2/3 < b_1^2$$

反应符合几何条件和能量条件, 可以进行。

六、



组织组成: 先共析铁素体(F) + 珠光体(P)

相组成: $\alpha + Fe_3C$

$$2. \text{组织组成: } w_F = \frac{0.77 - 0.65}{0.77 - 0.022} \times 100\% = 16.0\%$$

$$w_P = 1 - 16.0\% = 84.0\%$$

$$\text{相组成: } w_\alpha = \frac{6.69 - 0.65}{6.69 - 0.22} \times 100\% = 90.6\%$$

$$w_{Fe_3C} = 1 - 90.6\% = 9.4\%$$

七、GaAs 晶体结构为立方 ZnS 型, 故晶胞中有 4 个 Ga 和 4 个 As。

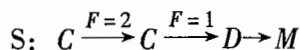
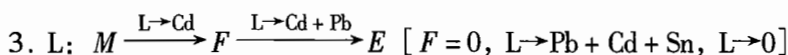
$$\text{晶胞重 } W = \frac{(M_A + M_B) \times 4}{N} = \frac{(69.72 + 74.92) \times 4 \text{ g/mol}}{6.022 \times 10^{23} / \text{mol}} = 96.07 \times 10^{-23} \text{ g}$$

$$\text{晶胞体积 } V = a^3, \rho = \frac{W}{a^3}$$

$$\text{晶胞参数 } a = \sqrt[3]{\frac{W}{\rho}} = \sqrt[3]{\frac{96.07 \times 10^{-23}}{5.307}} \text{ cm} = 0.5657 \times 10^{-7} \text{ cm} = 0.5657 \text{ nm}$$

八、

1. M 点如图 13-4 中所示。

2. $T_m = 200^\circ\text{C}$ 

$$4. \frac{[L]}{[S]} = \frac{MD}{ME}, [L] = \frac{MD}{ME + MD} = \frac{74 - 39}{74 - 18} = \frac{35}{56} = 62.5\%$$

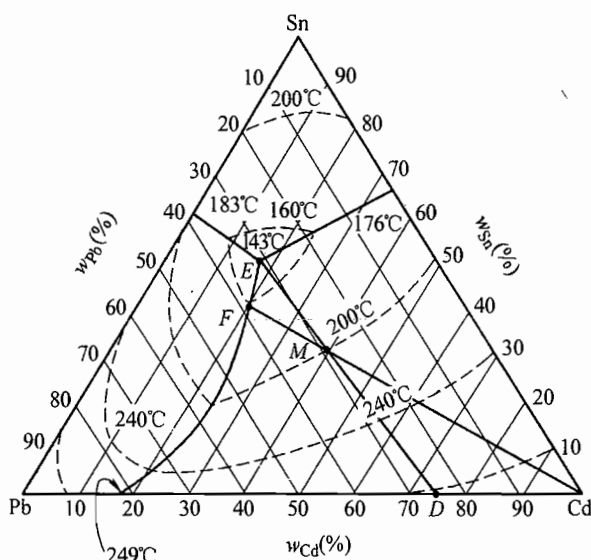


图 13-4 第八题解答图

九、 $900^{\circ}\text{C} = 1173\text{K}$

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

$$D_{1273} t_{1273} = D_{1173} t_{1173}$$

$$\begin{aligned} t_{1273} &= D_{1173} t_{1173} / D_{1273} = 10 \exp[-32900 / (1.987 \times 1173)] / \exp[-32900 / (1.987 \times 1273)] \text{h} \\ &= 10 \times \exp(-14.1156) / \exp(13.0068) \text{h} \\ &= 10 \times \exp(-1.5089) \text{h} \\ &= 10 \times 0.3299 \text{h} \\ &= 3.299 \text{h} \end{aligned}$$

900°C 渗碳，一炉齿轮需 $1000 \text{ 元/h} \times 10 \text{ h} = 10000 \text{ 元}$ ；

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

十、

强化原因：位错交割产生扭折和割阶，位错反应产生不可动位错，位错增殖使位错密度增加。

消除加工硬化的方法：再结晶退火。

发生的变化：退火过程中位错密度降低，变形的晶粒变为等轴晶粒，残余应力消除，强度硬度降低。

工艺参数：加热温度 $T = 0.4 T_m$ 以上 $100 \sim 200^{\circ}\text{C}$ ，加热时间根据具体装炉量和工件大小而定。

十一、

粗糙界面：是一种固-液界面，固相界面上的原子排列高高低低、粗糙不平，不显示晶体学的任何晶面特征。

光滑界面：是另一种固-液界面，固相界面上的原子排列成平整的原子平面，即晶体学的某一定晶面。

生长方式：对粗糙界面，连续长大；对光滑界面，侧向长大，包括二维形核长大和螺位错长大等。

生长形态：对粗糙界面，在正温度梯度下，平面生长。在负温度梯度下，枝晶生长；对光滑界面，在正温度梯度下，平面生长。当等温面与最低表面能晶面不平行时，界面分割成一系列小台阶，长大过程为原子添加到台阶处。小台阶面即为最低表面能晶面。在负温度梯度下，晶体生长成具有各自特性的多面体或带有小平面的枝晶。

十二、列于表 13-1。

表 13-1 第十二题解答表

	金相组织	立体形貌	亚结构	力学性能
片状 马氏体	最先生成的马氏体针贯穿奥氏体晶粒，后生成者逐渐变小。片间互不平行。C% > 1.4% 者有中脊	双凸透镜状	马氏体中部有大量孪晶，边部有位错。中脊是精细孪晶	硬而脆
板条 马氏体	原奥氏体晶粒分为若干块，每块由若干板条束组成，每个板条束由许多平行板条马氏体组成	具有椭圆形截面的长柱状	马氏体内部有高密度的位错，形成位错胞	强而韧

试 卷 十 四

2004 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料学

一、名词解释 (20 分, 每题 2 分)

1. 惯习面 2. 索氏体 3. 伪共析转变 4. 交滑移 5. 螺位错 6. 配位多面体 7. 高分子的数均相对分子质量 (\overline{M}_n) 8. 全位错 9. 共析转变 10. 弗兰克尔空位

二、填空 (20 分, 每空 1 分)

1. 多晶体材料塑性变形至少需要 (1) 独立滑移系开动。
2. 固态相变形核时, 晶核形态呈圆盘状具有最小的 (2) 能, 最大的 (3)。
3. 发生在固态晶体中的扩散, 根据伴随原子扩散是否产生新的相结构, 可分为 (4) 扩散和 (5) 扩散。
4. 根据界面上原子排列结构不同, 可把固体中的相界面分为 (6)、(7) 和 (8) 界面。
5. Cr (原子序号 24) 的基态电子组态为 (9)。
6. 高分子中, 由于 (10) 而产生的分子在空间的不同形态称为构象, 高分子能够改变构象的性质称为 (11)。
7. 硅酸盐晶体主要结构类型 (亚类) 有 (12)、(13)、(14)、(15) 和架状。
8. 金属间化合物通常包括受电负性控制的 (16), 以原子尺寸为主要控制因素的密排相和 (17), 以及由电子浓度起主要控制作用的 (18)。
9. 线性高分子可反复使用, 又称为 (19) 塑料; 交联高分子不能反复使用, 称为 (20) 塑料。

三、判断正误 (10 分, 每题 1 分)

1. 固态晶体扩散过程中, 扩散原子迁移方向总是从高浓度处向低浓度处迁移。
2. 贝氏体转变中, Fe、C 原子均不发生扩散。
3. 晶粒越细小, 晶体强度、硬度越高, 塑性、韧性越好。
4. 固态相变时, 母相中的晶体缺陷阻碍新相晶核的形成。
5. 氯化铯结构中, 氯占据角顶位置, 铯占据立方体心位置, 所以其结构类

型为体心格子。

6. 组元晶体类型不同, 在特定条件下也可形成无限互溶的固溶体。
7. 结构简单、规整度高、对称性好的高分子容易结晶。
8. 同一滑移面上位错线平行的异号刃型位错, 相互作用结果使位错彼此远离。
9. 奥氏体的溶碳能力之所以比铁素体高是因为奥氏体晶体间隙大。
10. 三元系相图中, 在共晶温度点的自由度为 0。此时是三相平衡。

四、论述及计算题

1. 钢中马氏体转变的主要特征是什么? 其转变产物主要形态有哪些? 晶内亚结构各是什么? (10 分)

2. 什么是时效? 时效通常经历哪些过程? 试说明其产生时效强化的原因。(15 分)

3. 说明存在于面心立方晶格金属中 (111) 面的位错 $b_1 = a/2[10\bar{1}]$ 及 (11 $\bar{1}$) 面的位错 $b_2 = a/2[011]$ 能发生位错反应的原因; 生成位错的柏氏矢量及位错属性是什么? 该位错反应发生对于金属的塑性变形将产生何种影响? (15 分)

4. 画出面心立方密堆积的原子密排面和原子密排方向, 并用密勒指数表示; 说明其堆积方式, 在图中标出全部 L^3 对称轴的位置。(10 分)

5. 铝酸钇 ($YAlO_3$) 的晶体结构为钙钛矿型, 钇占据角顶位置, 氧占据面心位置, 铝占据体心位置。已知铝、钇和氧的电负性 χ 分别为 1.61、1.22、3.44, 离子半径分别为 67.5pm、104pm、126pm ($1\text{pm} = 10^{-12}\text{m}$)。(1) 画出结构; (2) 判断键性; (3) 铝填充的是什么空隙, 计算说明其配位数是否合理; (4) 用鲍林规则分析其结构稳定性。(15 分)

6. 画出图 14-1 所示铅锡相图中含 Sn10% 的铅锡合金的冷却曲线并分析结晶过程; 计算室温时 α 相和 β_{II} 相的含量。(15 分)

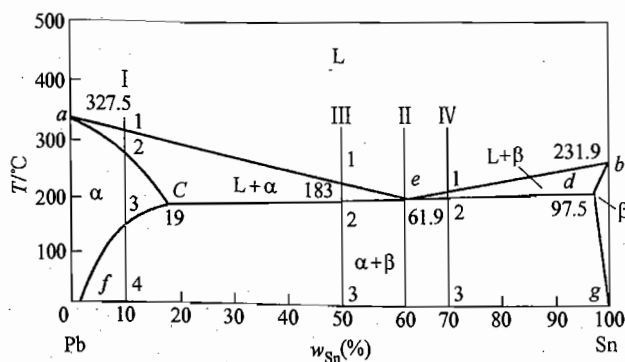


图 14-1 第四题第 6 小题图

7. 何为成分过冷? 说明其产生原因。其主要影响因素有哪些? 在单晶生长中如何克服? (10分)

8. 氧化镁和氧化铝(溶质)形成置换固溶体, 写出缺陷方程。说明能否形成连续固溶体。(10分)

标准答案

一、

1. 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惯习面。

2. 中温段珠光体转变产物, 由片状铁素体渗碳体组成, 层片间距较小, 片层较薄。

3. 伪共析转变: 非平衡转变过程中, 处在共析成分点附近的亚共析、过共析合金, 转变终了组织全部呈共析组织形态。

4. 沿着相同的滑移方向, 滑移过程由一个滑移面过渡到另一个滑移面上进行。

5. 位错线与柏氏矢量平行的位错。

6. 原子或离子周围与它直接相邻结合的原子或离子的中心连线所构成的多面体, 称为原子或离子的配位多面体。

7. 以数量为统计权重的高分子相对分子质量, $\overline{M}_n = \sum_i N_i M_i / \sum_i N_i$, N_i 是分子量为 M_i 的摩尔分数。

8. 柏氏矢量等于点阵矢量的位错称为全位错。

9. 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共析转变。

10. 离位原子迁移到晶体点阵的间隙中称为弗兰克尔空位。

二、(1) 5个; (2) 应变; (3) 界面; (4) 原子; (5) 反应; (6) 共格; (7) 半共格; (8) 非共格; (9) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^1$; (10) 单键内旋转; (11) 柔顺性; (12) 岛; (13) 群(或环); (14) 链; (15) 层; (16) 正常价化合物; (17) 拓扑密堆相; (18) 电子化合物; (19) 热塑性; (20) 热固性。

三、(1) ×; (2) ×; (3) √; (4) ×; (5) ×; (6) ×; (7) √; (8) ×; (9) √; (10) ×。

四、

1.

(1) 转变特征:

①无扩散性, Fe、C原子均不发生扩散。(2分)

②共格切变, 存在惯习面及新相母相位向关系。(2分)

③非恒温性。(1分)

④马氏体转变不完全性。(1分)

(2) 转变产物形态: 板条状马氏体 (1分); 针状马氏体。(1分)

(3) 晶内亚结构: 板条状马氏体主要为高密度位错 (1分); 针状马氏体为高密度孪晶, 边缘存在一定位错。(1分)

2.

(1) 时效: 过饱和固溶体的脱溶过程。(3分)

(2) 时效过程:

①形成 GP 区。(1分)

②形成一系列与母相保持共格、半共格亚稳态中间相。(1分)

③形成稳定析出相。(1分)

④析出稳定相聚集长大。(1分)

(3) 时效强化原因: 亚稳相的弥散析出, 与母相保持共格半共格界面, 阻碍母相位错运动。

①对于可变形第二相粒子, 位错切过第二相粒子, 破坏第二相粒子与共格半共格关系且增加相界面积, 第二相粒子本身具有较高强度。(4分)

②对于不可变形第二相粒子, 位错绕过第二相粒子, 遗留绕第二相粒子位错环, 增加位错线长度, 加大第二相粒子对后续位错运动阻力。(4分)

3.

(1) 发生位错反应 $a/2[10\bar{1}] + a/2[011] \rightarrow a/2[110]$

能发生反应原因: ①满足结构条件 $\vec{b}_1 + \vec{b}_2 = \vec{b}_3$ 。

②满足能量条件: $a^2/2 + a^2/2 > a^2/2$ 。(5分)

(2) 生成位错柏氏矢量 \vec{b}_3 为 $a/2[110]$, 为纯刃型位错, 可滑移面 (001) 面不是面心立方结构滑移面, 所以为固定位错。(5分)

(3) 位错反应生成固定位错 $a/2[110]$ 将阻碍 (111), (11 $\bar{1}$) 面上位错运动, 宏观产生显著形变强化。(5分)

4.

(1) 面心立方堆积原子密排面为 (111)。(3分)

(2) 原子密排方向为 $[\bar{1}10]$ 。(2分)

(3) 堆积方式: ABCABC 型。(2分)

(4) L^3 轴共 4 个, 如图 14-2 所示。(3分)

5.

(1) 如图 14-3 所示。(2分)

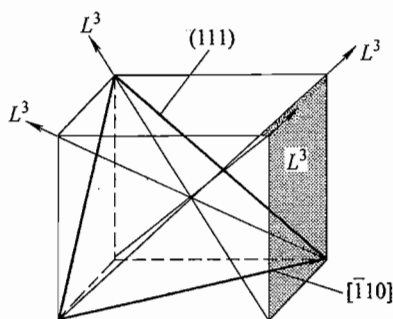


图 14-2 第四题第 4 小题解答图

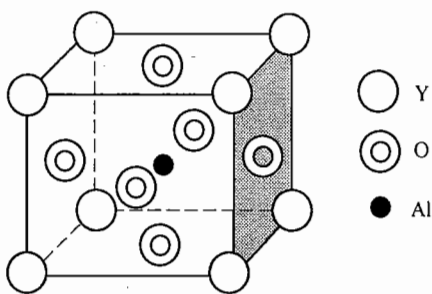


图 14-3 第四题第 5 小题解答图

(2) 键型由原子电负性差值决定:

$$\Delta\chi_{Y-O} = 3.44 - 1.22 = 2.22 > 1.7, Y-O \text{ 为离子键。}$$

$$\Delta\chi_{Al-O} = 3.44 - 1.61 = 1.83 > 1.7, Al-O \text{ 为离子键。 (2 分)}$$

(3) 铝填充的是氧八面体空隙, 其配位数由正负离子半径比决定:

$$R^+/R^- = \frac{67.5\text{pm}}{126\text{pm}} = 0.5357, 0.414 < R^+/R^- < 0.732, \text{铝离子配位数 } CN = 6,$$

合理。(3 分)

(4) 鲍林规则, 负离子电价等于其周围正离子配给该负离子各静电键强度的总和, 与氧相邻的有 4 个 Y^{3+} 和 2 个 Al^{3+} , 即:

$$Z^- = \sum_i S_i = \sum_i \frac{Z_i^+}{CN_i} = \frac{3}{12} \times 4 + \frac{3}{6} \times 2 = 2 \quad \text{该结构是稳定的。 (3 分)}$$

6.

(1) 冷却曲线略。(5 分)

(2) $1 \xrightarrow{f=1} 2 \xrightarrow{f=2} 3 \xrightarrow{f=1} 4$, α 和 β_{II} 相溶解度沿 cf 和 dg 下降脱溶沉淀。(5 分)

(3) 室温合金两相的含量分别为: $w_\alpha = \frac{4g}{fg} \times 100\%$

$$w_{\beta_{II}} = \frac{4f}{fg} \times 100\% \quad (5 \text{ 分})$$

7.

(1) 由于第二成分的加入, 在固液界面处, 熔体凝固点下降, 远离界面的熔体仍然保持高熔点, 由于杂质存在, 固液界面处存在分配系数 $k_0 = \frac{C_s}{C_L}$, 杂质浓

度高于平均浓度 C_0 , 随距离变化为: $C_L = C_0 \left(1 + \frac{1-k_0}{k_0} e^{-\frac{RX}{D}} \right)$, 式中 D 为扩散系

数, 造成 $T_L = T_m - m_L C_0 \left(1 + \frac{1-k_0}{k_0} e^{-\frac{RX}{D}} \right)$, 当熔体冷却速度较大时, 液态温度

低于凝固温度，造成液滴被晶体所包围，形成散射颗粒，这种现象称为成分过冷。(6分)

(2) 克服成分过冷可加大温度梯度，减小生长速率 R 。(4分)

8.

(1) 缺陷方程： $\text{Al}_2\text{O}_3 \xrightarrow{\text{MgO}} 2\text{Al}_{\text{Mg}}^{\cdot} + \text{V}_{\text{Mg}}'' + 3\text{O}_\text{O}$ 。(5分)

(2) 不可以形成连续固溶体，因晶型不同。(5分)

试 卷 十 五

2005 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料学、材料物理与化学、材料加工工程

一、名词解释 (20 分, 每题 2 分)

1. 位错滑移 2. 高分子链的构型 3. 平衡分凝系数 4. 均匀形核 5. 活性氧 6. 上坡扩散 7. 储存能 8. 再结晶 9. 伪共析 10. 惯习面

二、填空 (20 分, 每空 1 分)

- 高岭石属于层状硅酸盐结构, 一层是 (1), 一层是 (2)。
- 晶体内部构造的对称要素是除 C 、 P 、 L^n 和 L_i^n 外的 (3)、(4) 和 (5)。
- 三元相图中, 共晶点是 (6) 相平衡, 自由度为 (7)。
- 链段是用来描述高分子的 (8) 性。
- CaO 掺杂到 ZrO_2 中, 其中 Ca^{2+} 离子置换了 Zr^{4+} 离子, 由于电中性要求, 以上置换同时产生一个 (9) 缺陷, 可用 (10) 缺陷反应方程表示。
- 固态相变形核的驱动力是 (11), 阻力主要是 (12) 和 (13)。
- 小角度晶界由位错构成, 其中对称倾转晶界由 (14) 位错构成, 扭转晶界由 (15) 位错构成。
- 强化金属材料的方法有 (16) 强化、(17) 强化、(18) 强化、(19) 强化。
- 线性高分子可反复使用, 又称为 (20); 交联高分子不能反复使用, 称为热固性塑料。

三、判断正误 (10 分, 每题 1 分)

- 过饱和点缺陷是热力学平衡缺陷。
- 晶体结构不同就不能形成连续固溶体。
- 离子键性可以由两个原子的电负性决定。
- 匀晶转变过程是一个恒温转变过程。
- 同一滑移面上, 符号相同的刃位错相互作用的结果是使位错彼此远离。
- 贝氏体转变中, Fe 、 C 原子均不发生扩散。
- 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. 晶粒越细小, 晶体强度、硬度越高, 塑性、韧性越差。
9. 多晶体材料塑性变形至少需要 3 个独立滑移系开动。
10. 结构简单、规整度高、对称性好的高分子容易结晶。

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

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

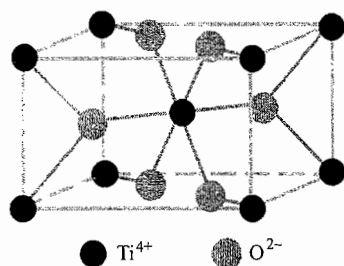


图 15-1 第四题图

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

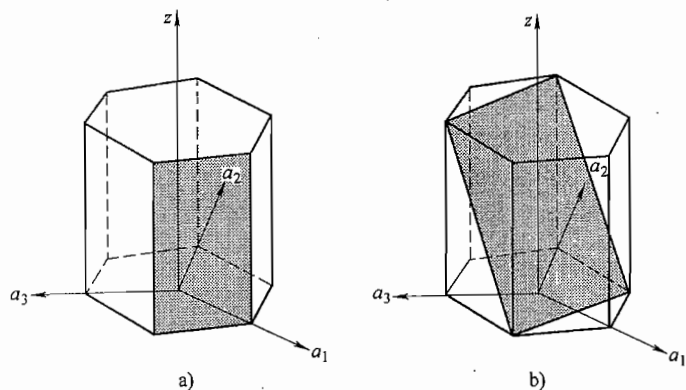


图 15-2 第五题图

六、(15分) 试分析在面心立方金属中, 位错的柏氏矢量为 $b_1 = \frac{a}{2} [10\bar{1}]$, $b_2 = \frac{a}{6} [\bar{1}21]$, $b_3 = \frac{a}{3} [1\bar{1}1]$ 。位错反应 $b_1 + b_2 = b_3$ 能否进行, 并指出其中 3 个位错分别是什么类型的位错, 反应后生成的位错能否在滑移面上运动。

七、(15分) 镁-铅相图示于图 15-3。

1. 请写出恒温转变的名称和反应式, 标出转变温度 (含单组分)。
2. 画出含铅 20% 的合金的步冷曲线和相组成图。
3. 写出含铅 20% 的合金析晶路线。
4. 计算含铅 20% 的合金相组成。

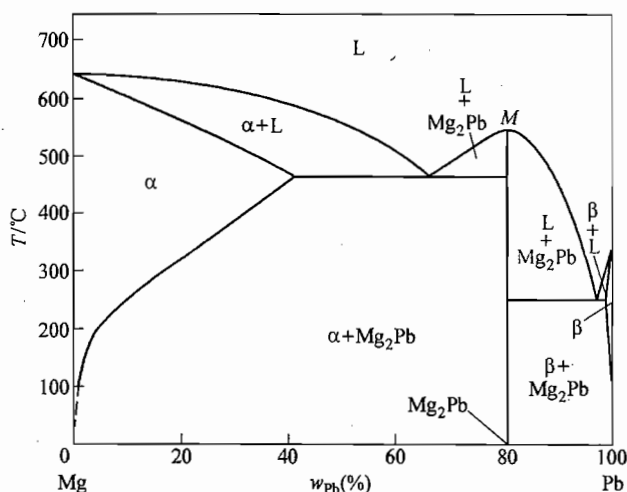


图 15-3 第七题图

八、(10分) 影响晶态固体中原子扩散的因素有哪些? 并加以简单说明。

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

十、(10分) 什么是时效? 试说明其产生时效强化的原因。

十一、(15分)

1. 试说明多晶结构材料晶粒越细小晶体强度越高的原因。

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

标 准 答 案

一、

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

二、(1) 硅氧四面体层；(2) 铝氧八面体层；(3) 平移轴；(4) 滑移面；(5) 螺旋轴；(6) 四；(7) 0；(8) 柔顺；(9) 空位；(10) $\text{CaO} \xrightarrow{\text{ZnO}} \text{Ca}_{\text{Zn}}'' + \text{V}_{\text{O}}^{\bullet} + \text{O}_0$ ；(11) 新相和母相的自由能之差；(12) 界面能；(13) 应变能；(14) 刃；(15) 螺；(16) 固溶；(17) 位错；(18) 细晶；(19) 弥散（或沉淀相颗粒）；(20) 热塑性塑料。

三、1. ×；2. √；3. ×；4. ×；5. √；6. ×；7. √；8. ×；9. ×；10. √。

四、

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

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

4. 钛填充的是氧八面体空隙，只填充了 1/2 八面体空隙。(3分)
5. 配位多面体如图 15-4 所示。(3分)

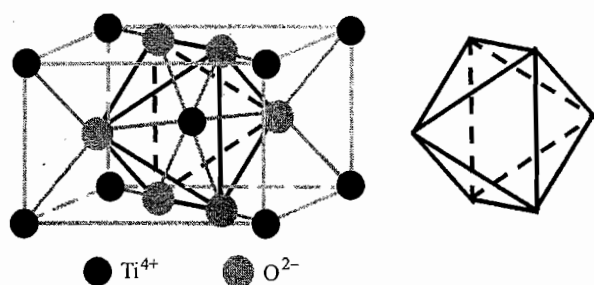


图 15-4 第四题第 5 小题解答图

五、

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

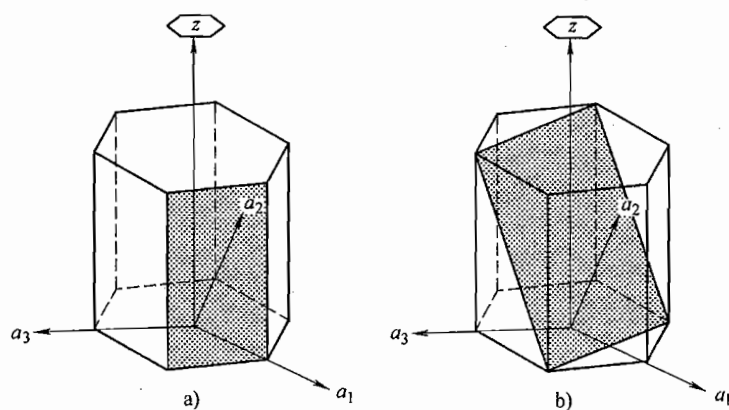


图 15-5 第五题解答图

六、

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

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

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

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

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

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

七、

1. 结晶 $L \rightarrow \text{Mg}$ (650°C)。

共晶反应 $L \rightarrow \alpha + \text{Mg}_2\text{Pb}$ (450°C)。

结晶 $L \rightarrow \text{Mg}_2\text{Pb}$ (520°C)。

共晶反应 $L \rightarrow \text{Mg}_2\text{Pb} + \beta$ (250°C)。

结晶 $L \rightarrow \text{Pb}$ (310°C)。(5分)

2. 见图 15-6。(4分)

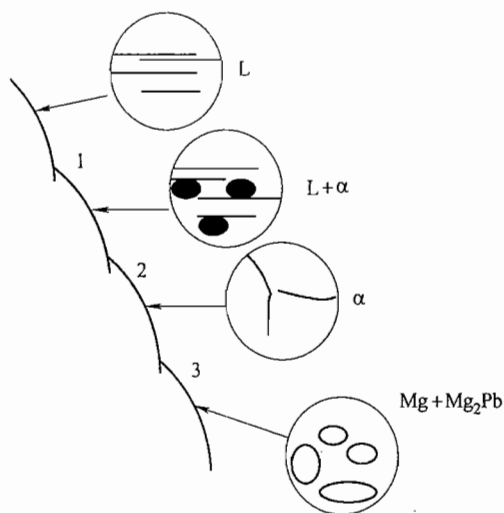


图 15-6 第七题第 2 小题解答图

$$3. L \xrightarrow[\text{L}]{f=2} 1 \xrightarrow[\text{L} \rightarrow \alpha]{f=1} 2 \xrightarrow[\alpha]{f=2} 3 \xrightarrow[\alpha + \text{Mg}_2\text{Pb}]{f=1} 4 \quad (3 \text{ 分})$$

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

八、

1. 温度。温度越高, 扩散系数越大, 扩散速率越快。(2分)

2. 晶体结构及固溶体类型。致密度较小的晶体结构中扩散激活能较小, 扩散易于进行; 对称性较低的晶体结构, 扩散系数的各向异性显著; 间隙固溶体中的扩散激活能远小于置换固溶体, 扩散容易进行。(4分)

3. 第三组元。根据加入的第三组元的性质不同, 有的促进扩散, 有的阻碍扩散。(2分)

4. 晶体缺陷。沿晶界的扩散系数远大于体扩散系数; 沿位错管道扩散时扩散激活能较小, 因而位错加速扩散。(2分)

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

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

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

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

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介稳相(过渡相)。时效强化的原因: 一是当析出盘状介稳相且与母相有一定取向关系时, 会在基体内产生较大弹性应变, 可使合金明显强化;(2分)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, 增加颗粒的表面积需要做功, 增大了位错运动的阻力而使合金得到强化。如果沉淀相颗粒强度高且与基体非共格, 位错线难以切过颗粒, 在外加应力的作用下将绕过颗粒, 留下位错环。合金要继续变形, 需要克服颗粒对位错线绕过时施加的应力, 因此需要进一步增大外加应力, 即合金获得了时效强化。(5分)

十一、

1. 多晶体材料塑性变形时, 粗大晶粒的晶界处塞积的位错数目多, 形成较大的应力场能够使相邻晶粒内的位错源启动, 使变形继续; 相反, 细小晶粒的晶界处塞积的位错数目少, 要使变形继续, 必须施加更大的外加作用力以激活相邻晶粒内位错源, 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。(5分)

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

由等面积圆半径表示晶粒尺寸, 即:

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

A_1 和 A_2 为晶粒面积。于是

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

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

试 卷 十 六

2006 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料学、材料物理与化学、材料加工工程

一、名词解释 (20 分, 每题 2 分)

1. 同质异晶体 2. 间同立构 3. 包晶转变 4. 非均匀形核 5. 珠光体 6. 孪生 7. 形变织构 8. 再结晶 9. 调幅分解 10. 时效

二、填空 (20 分, 每空 1 分)

1. 晶体按对称性可分为 (1) 晶族, (2) 晶系, 总共有 (3) 种点群和 (4) 种空间群。

2. 面心立方堆积中, 晶胞的原子数为 (5), 它有 (6) 个四面体空隙, (7) 个八面体空隙。

3. 铸锭三晶区指 (8)、(9) 和 (10)。

4. 固态相变形核的驱动力是 (11), 阻力主要是 (12) 和 (13)。

5. 再结晶完成后, 晶粒长大可分为 (14) 晶粒长大和 (15) 晶粒长大。

6. 强化金属材料的方法有 (16) 强化、(17) 强化、(18) 强化和 (19) 强化。

7. 马氏体相变时, 新相往往在母相的一定晶面上开始形成, 这个晶面称为 (20)。

三、判断正误 (10 分, 每题 1 分)

1. 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。

2. 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。

3. 晶粒越细小, 晶体强度、硬度越高, 塑性、韧性越差。

4. 热加工是指高于回复温度的变形加工。

5. 一般来说, 金属晶体和陶瓷晶体多为弹-塑性体, 而高分子材料和非晶陶瓷可呈现出弹性直至粘性的各种状态。

6. 氢键属于分子间力的一种, 具有方向性和饱和性。

7. 由一个固相同时析出成分和晶体结构均不相同的两个新相的过程称为共析转变。

8. 位错攀移是螺位错的一种运动方式。
9. 匀晶转变是一个等温过程。
10. 固液体系中, 平衡分配系数 $k_0 > 1$ 时, 杂质的加入会使熔点下降。

四、论述及计算题

1. 影响晶态固体中原子扩散的因素有哪些? 并加以简单说明。(10 分)
2. 分析回复与再结晶阶段变形金属中空位与位错的变化及其对性能的影响。(10 分)
3. 简要说明加工硬化现象带来的利与弊。如何消除加工硬化现象?(10 分)
4. (15 分) 已知碳在 γ -Fe 中的扩散常数 $D_0 = 2.0 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, 扩散激活能 $Q = 140 \times 10^3 \text{ J/mol}$ 。
 - (1) 计算在 870°C 和 927°C 两种温度下碳在 γ -Fe 中的扩散系数。
 - (2) 要想得到在 927°C 渗碳 10 小时相同厚度, 在 870°C 渗碳需要多长时间?(忽略不同温度下碳在 γ -Fe 中溶解度的不同)
5. 分别画出面心立方晶体的 $[1\bar{2}1]$ 晶向和 $(10\bar{3})$ 晶面, 六方晶系中 $[10\bar{1}0]$ 晶向和 $(10\bar{1}1)$ 晶面。(12 分)
6. 铌酸钾 KNbO_3 为优异的非线性光学晶体, 属钙钛矿结构, 其晶胞这样构成: K^+ 离子半径为 178pm , 占据立方体角顶位置, Nb^{5+} (78pm) 占据体心位置, O^{2-} (126pm) 占据面心位置。(15 分, 每题 3 分)
 - (1) 画出该结构的晶胞, 标注原子坐标;
 - (2) 该结构中, 钾和氧离子联合构成哪种堆积;
 - (3) 分析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) 铌酸锂 LiNbO_3 结构属三方晶系, 它和 KNbO_3 能否形成连续固溶体。
7. YbF_3 和 NaF 掺入 CaF_2 晶体中, 若铕离子和钠离子都是置换了阳离子的位置, 请写出缺陷反应方程式。(8 分)
8. 在面心立方晶体中, 柏氏矢量 $\mathbf{b}_1 = \frac{a}{2} [\bar{1}01]$ 的位错与 $\mathbf{b}_2 = \frac{a}{6} [12\bar{1}]$ 的位错相遇, 能否发生位错反应生成 \mathbf{b}_3 , 写出方程式, 解释理由, 并指出 \mathbf{b}_1 、 \mathbf{b}_2 和 \mathbf{b}_3 分别属于哪种位错。(10 分)
9. Fe-Fe₃C 相图如图 16-1 所示。
 - (1) 写出恒温转变的反应式;
 - (2) 分析含碳量为 1.0% 的合金平衡冷却过程, 说明室温时的组织组成和相组成;
 - (3) 计算室温时组织组成物的相对含量。(10 分)

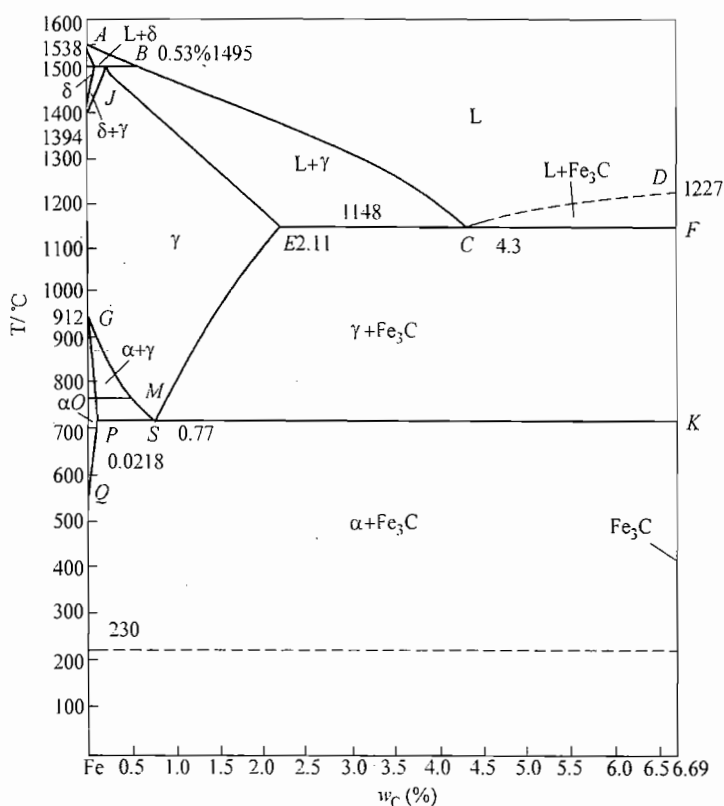


图 16-1 第四题第 9 小题图

标准答案

- 一、
1. 同质异晶体：相同成分的化学物质在不同热力学条件下形成的各种不同结构的晶体。
2. 间同立构：取代基交替地处于高分子主链平面两侧键接成的高分子。
3. 包晶转变：在一定温度下，由一定成分的液相与一定成分的固相互相互作用，生成另一个一定成分的新固相的过程。
4. 非均匀形核：熔融液体冷却过程中，依附于母相中某种界面上的形核过程。
5. 珠光体：铁碳合金共析转变的产物，是共析铁素体和共析渗碳体的层片状混合物。
6. 孪生：切应力作用下晶体的一部分相对另一部分沿着特定的晶面、晶体

学方向产生的均匀切变过程。

7. 形变织构：随塑性变形量增加，变形多晶体某一晶体学取向趋于一致的现象。

8. 再结晶：塑性变形金属后续加热过程通过形核与长大无畸变等轴晶逐渐取代变形晶粒的过程。

9. 调幅分解：固溶体通过上坡扩散分解成结构与母相相同，成分不同两种固溶体的转变。

10. 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。

二、(1) 3; (2) 7; (3) 32; (4) 230; (5) 4; (6) 8; (7) 4; (8) 表层细晶区; (9) 柱状晶区; (10) 中心等轴粗晶区; (11) 新相和母相的自由能之差; (12) 界面能; (13) 应变能; (14) 正常; (15) 异常; (16) 固溶; (17) 位错; (18) 细晶; (19) 弥散 (或沉淀相颗粒); (20) 惯习面。

三、1. (×); 2. (×); 3. (×); 4. (×); 5. (√); 6. (√); 7. (√); 8. (×); 9. (×); 10. (×)。

四、

1. 影响晶态固体中原子扩散的因素有：

(1) 温度。温度越高，扩散系数越大，扩散速率越快。(2分)

(2) 晶体结构及固溶体类型。致密度较小的晶体结构中扩散激活能较小，扩散易于进行；对称性较低的晶体结构，扩散系数的各向异性显著；间隙固溶体中的扩散激活能远小于置换固溶体，扩散容易进行。(4分)

(3) 第三组元。根据加入的第三组元的性质不同，有的促进扩散，有的阻碍扩散。(2分)

(4) 晶体缺陷。沿晶界的扩散系数远大于体扩散系数；沿位错管道扩散时扩散激活能较小，因而位错加速扩散。(2分)

2. 回复阶段：空位浓度下降接近平衡浓度，造成电阻率下降，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，高温回复阶段刃型位错通过滑移、攀移运动发生多边化过程，造成加工硬化现象保留，强度、硬度略有下降，残余应力基本消失。(6分)

再结晶阶段：伴随再结晶过程原子的重新排列，位错密度大大下降，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，变形各种金属性能恢复至未变形前。(4分)

3. 加工硬化现象带来的利：变形过程位错密度增加，位错间发生交互作用 (如位错交截、位错缠结等)，发生位错塞积，从而起到强化金属材料的作用。还可使金属材料变形均匀。(4分)

加工硬化现象带来的弊：造成塑性变形困难。(3分)

采用后续再结晶处理消除加工硬化现象。(3分)

4.

(1) 870℃碳在 γ -Fe 中的扩散系数: $7.94 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ (4分)

927℃碳在 γ -Fe 中的扩散系数: $15.99 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ (4分)

(2) 需要 20.12 小时。(7分)

5. 见图 16-2。

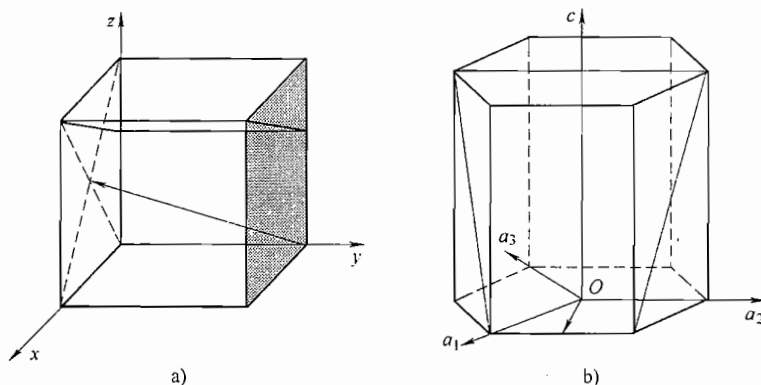


图 16-2 第四题第 5 小题解答图

6.

(1) 晶胞如图 16-3 所示。原子坐标为 K: 0, 0, 0; O: $1/2, 1/2, 0$; $1/2, 0, 1/2$; $0, 1/2, 1/2$; Nb: $1/2, 1/2, 1/2$ 。

(2) 该结构中, 钾和氧离子联合构成面心立方堆积。

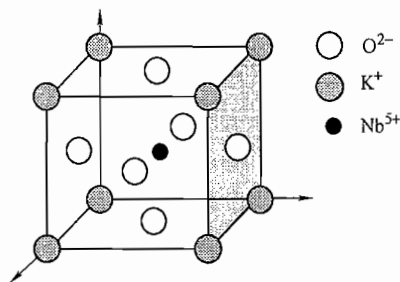


图 16-3 第四题第 6 小题解答图

(3) K: $\frac{R_K}{R_O} = \frac{178}{126} = 1.41$, CN = 12;

Nb: $\frac{R_{Nb}}{R_O} = \frac{78}{126} = 0.62$, CN = 6, 配位数合理。

(4) $\sum O^{2-} = 4S_K + 2S_{Nb} = 4 \times \frac{1}{12} + 2 \times \frac{5}{6} = 2$, 符合静电价规则。

(5) 不能。晶体结构不同因而不能形成连续固溶体。

7. (8分) $YbF_3 + NaF \xrightarrow{CaF_2} Yb_{Ca} + Na'_{Ca} + 4F_{Fe}$

8. (10分)

几何条件: $b_3 = b_1 + b_2 = \frac{a}{2}[\bar{1}01] + \frac{a}{6}[12\bar{1}] = \frac{a}{6}[\bar{2}22] = \frac{a}{3}[\bar{1}11]$,

能量条件: $b_1^2 + b_2^2 = \frac{a^2}{4}(1+0+1) + \frac{a^2}{36}(1+4+1) = \frac{a^2}{2} + \frac{a^2}{6} = \frac{2a^2}{3}$

$b_3^2 = \frac{a^2}{9}(1+1+1) = \frac{a^2}{3}$, $b_3^2 < b_1^2 + b_2^2$, 符合能量条件, 反应可以进行。

b_1 为全位错, b_2 为肖克莱不全位错, b_3 为弗兰克不全位错。

9. (10分)

(1) 包晶转变: $L + \delta \rightarrow \gamma$; 共晶转变: $L \rightarrow \gamma + Fe_3C$; 共析转变: $\gamma \rightarrow \alpha + Fe_3C$ 。

(2) 如图 16-4 所示: 1) 从熔体首先按匀晶转变, 结晶出奥氏体; 2) 熔体全部转变为奥氏体; 3) 奥氏体析出二次渗碳体; 4) 有珠光体出现。室温时的组织组成: 二次渗碳体和珠光体; 相组成: α 和 Fe_3C 。

$L \xrightarrow{f=2} 1 \xrightarrow[L \rightarrow \gamma]{f=1} 2 \xrightarrow[\gamma]{f=2} 3 \xrightarrow[\gamma \rightarrow Fe_3C]{f=1} 4 \xrightarrow[\text{珠光体} + \text{渗碳体}]{f=1} \text{室温}$

(3) $w_{Fe_3C} = \frac{1.00 - 0.77}{6.69 - 0.77} = \frac{0.23}{5.92} = 0.0389 = 3.89\%$, 珠光体 96.11%。

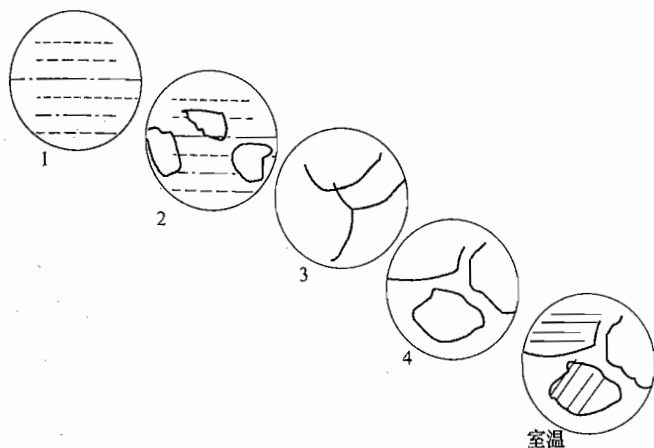


图 16-4 第四题第 9 小题解答图

中南大学

试 卷 十 七

2002 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：金属学

适用专业：材料科学与工程

一、(10 分) 画出 FCC 晶胞中 (111) 晶面上的所有 $\langle 110 \rangle$ 晶向；在 HCP 晶胞中画出 $[11\bar{2}0]$ 晶向和 $(1\bar{1}00)$ 晶面。

二、(10 分) 举出凝固理论在金属材料结晶中的几个应用，加以简单说明。

三、(10 分) 画出 Fe-Fe₃C 亚稳平衡相图，根据相图回答下列问题：

1. 标出合金在室温下的组织组成。

2. 写出相图中三个等温反应式。

3. 分析含碳量为 1.2% 的合金的平衡冷却过程；计算其在室温下的组织组成物的相对百分含量。

4. 画出 Fe-Fe₃C 合金在 1180℃ 时的成分-自由能曲线示意图。

5. 试分析元素 C 及 Cr 在 Fe 中的可能存在形式及其作用。

四、(10 分) 试总结位错在金属材料中的作用。

五、(10 分) 分析原子扩散在金属材料中的作用。

六、(10 分) 分析多晶体金属的变形过程及影响多晶体金属变形的因素。

七、(10 分) 分析层错能对金属热塑性变形的影响。

八、(10 分) 提高金属材料强度的途径有哪些？

九、(10 分) 解释下列名词：成分过冷；离异共晶；反应扩散；面角位错；晶界偏聚。

十、(10 分) Pb-Sn-Bi 三元合金相图如图 17-1 所示。

1. 试写出图中五条单变量线及 P 点、E 点反应的反应式。

2. 分析图中合金 2 的平衡结晶过程，指出它的开始凝固温度。

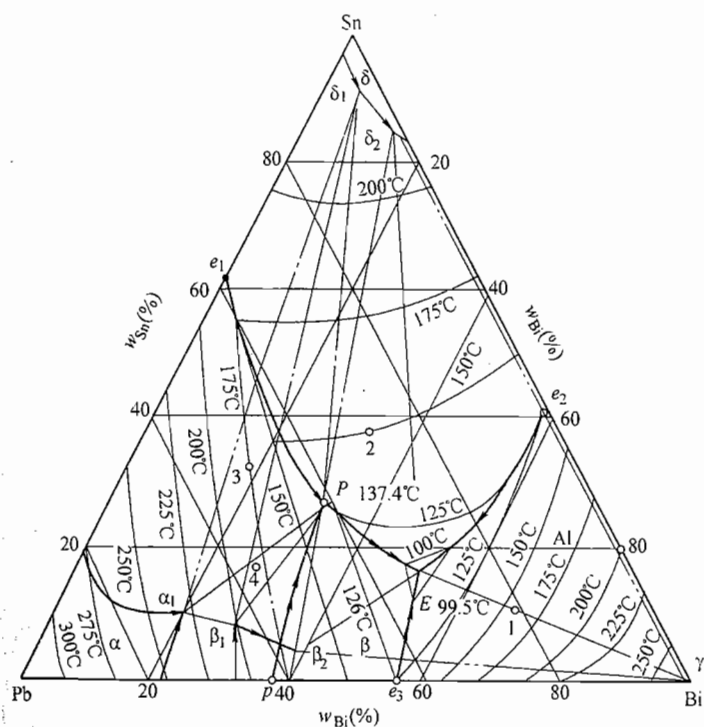


图 17-1 第十题图

标准答案

一、如图 17-2 所示。在图 17-2a 中， ACE 所在晶面为 (111) 晶面，该面内的 \overrightarrow{AC} 为 $[\bar{1}01]$ ， \overrightarrow{AE} 为 $[\bar{1}10]$ ， \overrightarrow{CE} 为 $[01\bar{1}]$ 。在图 17-2b 中， $[11\bar{2}0]$ 晶向为 Oa_3 反方向， $(1\bar{1}00)$ 晶面为 $ABCD$ 面。

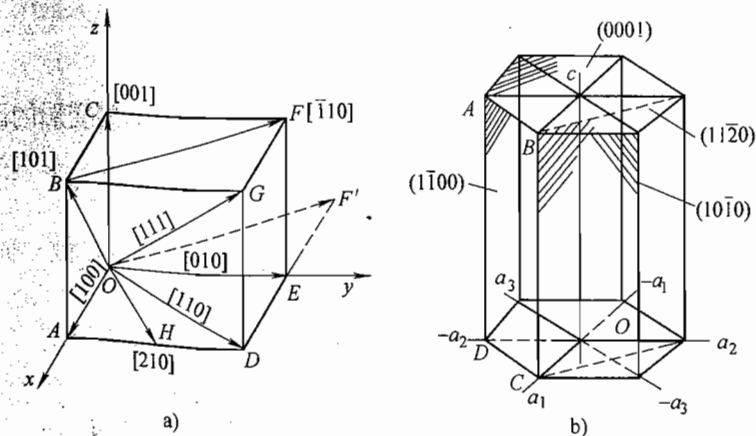


图 17-2 第一题解答图

二、铸锭组织控制、单晶体制备、非晶体制备等。

三、

1. Fe-Fe₃C 亚稳平衡相图 (略)。

2. 合金在室温下的组织组成: 相图中从左到右依次为: F, F + Fe₃C_{III}, F + P, P, P + Fe₃C_{II}, L'd + P + Fe₃C_{II}, L'd, L'd + Fe₃C_I。

3. 含碳量为 1.2% 的合金的平衡冷却过程为: L, L → A, A → Fe₃C_{II}, A → P, 室温下得到 P + Fe₃C_{II} 组织。其中, $w_P = \frac{6.69 - 1.2}{6.69 - 0.77} = 92.74\%$; $w_{Fe_3C_{II}} = 7.26\%$ 。

4. Fe-Fe₃C 合金在 1180℃ 时的成分-自由能曲线示意图如图 17-3 所示。

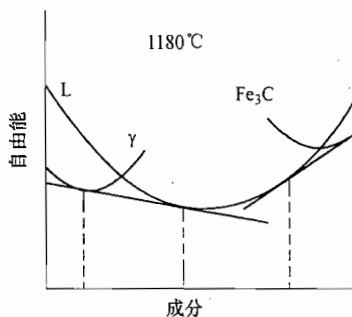


图 17-3 第三题第 4 小题解答图

5. 元素 C 可以固溶 in Fe 中, 起到强化作用, 与 Fe 形成化合物如 Fe₃C, 分布形态不好会降低合金强度与塑性; Cr 可以固溶 in Fe 中, 起到强化作用, Cr 也可与 Fe、C 形成合金碳化物。

四、要点

位错在金属材料中可以起到强化作用, 通过位错运动完成塑性变形, 合金中位错与溶质原子发生作用形成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, 位错影响扩散速度。

五、要点

液态金属的凝固、成分的均匀化、扩散型固态相变、表面化学热处理、氧化与脱碳、粉末烧结、高温蠕变等。

六、要点

多晶体金属的变形过程中每个晶粒的变形主要是滑移, 还可能出现孪生和扭折, 需要开动多个滑移系, 出现交滑移, 由于晶界的影响还有位向差效应和晶界的阻滞效应。

影响因素主要有晶粒大小、变形温度、变形速度。

七、要点

高层错能金属热塑性变形主要通过回复软化；低层错能金属热塑性变形主要通过再结晶软化，其应力-应变曲线有不同特点。

八、要点

细晶强化、固溶强化、加工硬化、沉淀强化、弥散强化等。

九、

成分过冷：由于在结晶过程中固溶体合金的溶质原子再分配造成固溶体合金在正温度梯度下，其凝固界面前沿的液相中在合适的温度梯度下也有过冷现象出现，称为成分过冷。

离异共晶：有共晶反应的合金中，如果成分离共晶点较远，由于初晶数量多，共晶数量很少，共晶中与初晶相同的相依附初晶长大，共晶中另外一个相呈现单独分布，使得共晶组织失去其特有组织特征的现象。

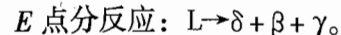
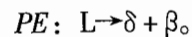
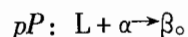
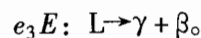
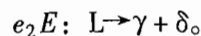
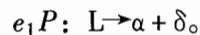
反应扩散：伴随有化学反应而形成新相的扩散称为反应扩散，如从金属表面向内部渗入金属时，渗入元素浓度超过溶解度出现新相。

面角位错：在位错反应中，FCC 晶体中不同滑移面上的全位错分解为不全位错后，领先不全位错反应生成新的不可动位错，导致出现的三个不全位错之间夹杂两个层错的不可动位错组态。

晶界偏聚：由于晶内与晶界上的畸变能差别或由于空位的存在使得溶质原子或杂质原子在晶界上的富集现象。

十、

1. 图中五条单变量线的反应式分别为：



2. 图中合金 2 的平衡结晶过程： $L \rightarrow \delta$ ， $L \rightarrow \delta + \beta$ ， $L \rightarrow \delta + \beta + \gamma$ ；合金 2 的开始凝固温度从图中可以得到为 150°C 。

试 卷 十 八

2003 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：金属学

适用专业：材料科学与工程

一、填空 ($0.5 \times 30 = 15$ 分)

1. FCC 结构的密排方向是 (1), 密排面是 (2), 密排面的堆垛顺序是 (3), 致密度为 (4), 配位数是 (5), 晶胞中原子数为 (6), 把原子视为半径为 r 的刚性球时, 原子的半径和点阵常数 a 的关系为 (7)。

2. 形成有序固溶体的必要条件是: (8)、(9)、(10)。

3. 无序固溶体转变为有序固溶体时, 合金性能变化的一般规律是: 强度和硬度 (11), 塑性 (12), 导电性 (13)。

4. Fe-Fe₃C 相图含碳量小于 (14) 为钢, 大于 (15) 为铸铁; 铁碳合金室温平衡组织均由 (16) 和 (17) 两个基本相组成; 奥氏体其晶体结构是 (18), 合金平衡结晶时, 奥氏体的最大含碳量是 (19); 珠光体的含碳量是 (20); 莱氏体的含碳量为 (21); 在常温下, 亚共析钢的平衡组织是 (22), 过共析钢的平衡组织是 (23); Fe₃C_I 是从 (24) 中析出的, Fe₃C_{II} 是从 (25) 中析出的, Fe₃C_{III} 是从 (26) 中析出的, 它们的含碳量为 (27)。

5. 图 18-1 为简单立方点阵晶胞, 其中 ABC 面的面指数是 (28), AD 的晶向指数是 (29)。

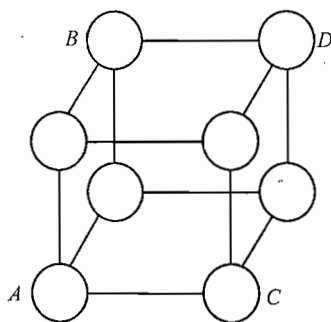


图 18-1 第一题第 5 小题图

6. 图 18-2 是 A-B-C 三元系成分三角形的一部分, 其中 X 合金的成分是 (30)。

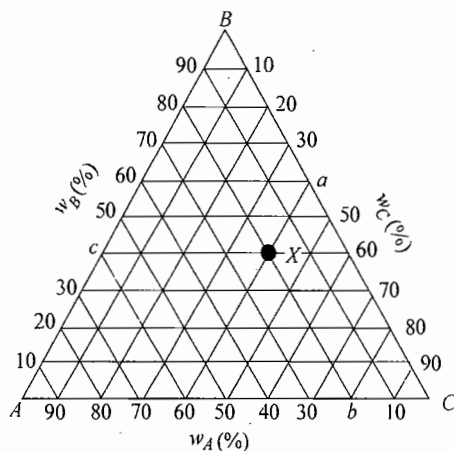


图 18-2 第一题第 6 小题图

二、简答 ($6 \times 5 = 30$ 分)

1. 晶带和晶带轴; 2. 柱状晶和等轴晶; 3. 包析反应和共析反应; 4. 割阶和扭折; 5. 冷加工与热加工。

三、(10 分)

1. 试根据凝固理论, 分析通常铸锭组织的特点。
2. 根据冷却速度对金属组织的影响, 现要获得非晶, 亚稳相, 请指出其凝固时如何控制。
3. 试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状方式成长, 而纯金属则得不到树枝状晶。

四、(20 分) Al-Cu 相图的局部如图 18-3 所示。

1. 分析 5.6%Cu 合金和 5.7%Cu 合金在平衡结晶和快速冷却不平衡结晶时室温组织特点。

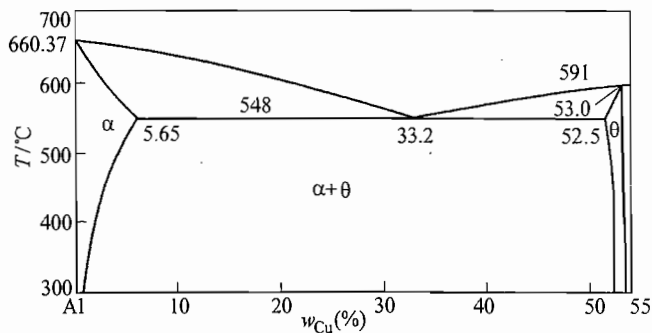


图 18-3 第四题图

2. Al 为 FCC 结构, 图中的 α 相为何种晶体结构?
3. 指出此二元系中比较适合作变形合金和铸造合金的成分范围。
4. 计算出亚共晶合金在温度为 T_E (共晶反应前) 时的平衡分配系数。
5. 设 X 合金平衡凝固完毕时的组织为 α 初晶 + $(\alpha + \theta)$ 共晶, 其中 α 初晶占 80%, 则此合金中刚凝固完毕时 θ 组元的含量是多少?
6. 绘出 $T = 560^\circ\text{C}$ 温度时各相的自由能—成分曲线示意图。

五、(10 分) 图 18-4 为 Fe-W-C 三元系的液相面投影图。写出 1700°C 、 1200°C 、 1085°C 的四相平衡反应式。选择一个合金成分其组织在刚凝固完毕时只有三元共晶。

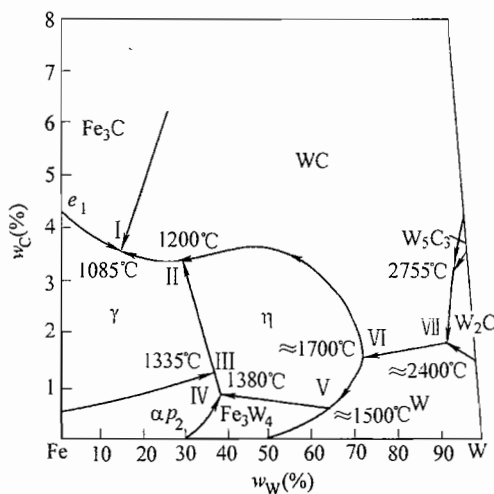


图 18-4 第五题图

六、(10 分) 图 18-5 所示低碳钢的三条拉伸曲线中, a 为塑性变形; b 为去载后立即再行加载; c 为去载时效后再加载。试回答下列问题:

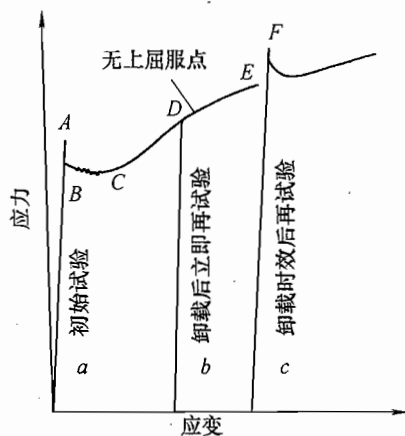


图 18-5 第六题图

1. 解释图示三曲线的屈服现象, 及 b 、 c 中屈服点上升的原因。

2. 屈服现象对冲压件表面质量有何不利影响。

七、(10 分) 户外用的架空铜导线(要求一定的强度)和户内电灯用花线, 在加工之后可否采用相同的最终热处理工艺? 为什么?

八、(10 分) 如何提高固溶体合金的强度?

九、(10 分) 试说明晶界对材料性能及变形的影响。

十、(10 分) 简单说明原子扩散对材料的影响; 举两个实例说明金属中的上坡扩散现象。

十一、(15 分) 工业纯铜的熔点为 1083°C , 在剧烈冷变形后的工业纯铜板上取三个试样, 第一个试样加热到 200°C , 第二个试样加热到 500°C , 第三个试样加热到 800°C , 各保温一小时, 然后空冷。试画出各试样热处理后的显微组织示意图, 说明它们在强度和塑性方面的区别及原因。

标准答案

一、

(1) $\langle 110 \rangle$; (2) $\{111\}$; (3) $ABCABC\cdots$; (4) 0.74; (5) 12; (6) 4; (7) $r = \frac{\sqrt{2}}{4}a$; (8) 异类原子之间相互吸引力大于同类原子之间吸引力; (9) 一定的化学成分; (10) 较慢的冷却速度; (11) 升高; (12) 降低; (13) 降低; (14) 2.11% C; (15) 2.11% C; (16) 铁素体 (α); (17) 渗碳体 (Fe_3C); (18) FCC; (19) 2.11%; (20) 0.77%; (21) 4.3%; (22) 铁素体和珠光体; (23) 珠光体和 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$; (24) 液相; (25) 奥氏体; (26) 铁素体; (27) 6.69%; (28) (101); (29) $[\bar{1}11]$; (30) 20% A-40% B-40% C。

二、

1. 晶带和晶带轴: 许多平行于同一晶向的不同的晶面组的总称为晶带, 而与这些晶面组平行的晶向称为晶带轴。

2. 柱状晶和等轴晶: 金属晶体结晶过程中沿着散热方向优先生长形成的长条形晶粒称为柱状晶, 而如果晶粒长大时没有择优方向, 向各个方向长大速度基本相等所得到的晶粒称为等轴晶。

3. 包析反应和共析反应: 由两个固相反应得到一个固相的过程为包析反应, 而由一个固相分解得到其他两个固相的反应为共析反应。

4. 割阶和扭折: 位错运动过程中与其他位错交截后形成一定的位错交截折线, 若交截后的位错折线在原来位错的滑移面上, 此位错折线称为扭折, 若交截后的位错折线垂直于原来位错的滑移面, 此位错折线称为割阶。

5. 冷加工与热加工：通常根据金属材料的再结晶温度来加以区分，在再结晶温度以上的加工称为热加工，低于再结晶温度又是室温下的加工称为冷加工。

三、

1. 通常铸锭组织的特点为外层的细等轴晶，铸锭表面向里有柱状晶，心部为粗大等轴晶。

2. 要获得非晶可以以极快速度将金属液体冷却，要获得亚稳相也必须使冷却速度远远超过平衡冷却速度。

3. 由于溶质原子再分配造成成分过冷，使固溶体合金正温度梯度下凝固时也可以呈树枝状方式成长；而纯金属则需要在负温度梯度下才能得到树枝状晶。

四、

1. 5.6% Cu 合金在平衡结晶时室温组织为 $\alpha + \theta_{II}$ ，快速冷却不平衡结晶时室温组织还出现少量非平衡共晶组织 $(\alpha + \theta)_{共晶}$ ；5.7% Cu 合金在平衡结晶时室温组织为 $\alpha + \theta_{II} + (\alpha + \theta)_{共晶}$ ，快速冷却不平衡结晶时室温组织出现离异共晶。

2. FCC 结构。

3. Cu 含量少于 5.65% 的合金为变形合金，Cu 含量大于 5.65% 的合金为铸造合金。

4. $k_0 = 0.17$ 。

5. 11.76%。

6. $T = 560^\circ\text{C}$ 温度时各相的自由能—成分曲线示意图如图 18-6 所示。

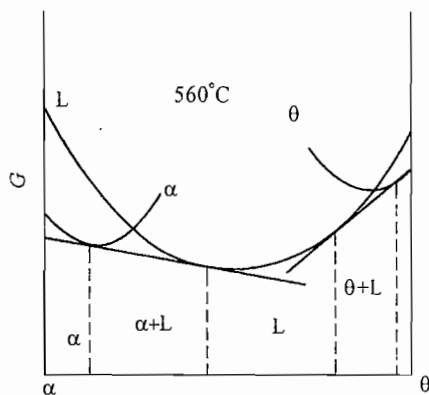


图 18-6 第四题第 6 小题解答图

五、各四相平衡反应式分别为： 1700°C ： $L + WC + W \rightarrow \eta$ ， 1200°C ： $L + \eta \rightarrow WC + \gamma$ ， 1085°C ： $L \rightarrow \gamma + WC + Fe_3C$ ；I 合金成分其组织在刚凝固完毕时只有三元共晶。

六、

1. 由于柯垂耳气团的影响。

2. 屈服现象使得冲压制件表面不平整。

七、不能采用相同的最终热处理工艺，户外用的架空铜导线要求较高的强度，一般用回复退火消除应力同时保留一定强度，户内电灯用花线需要易于变形和高的导电性能，可以采用再结晶退火使之软化，获得高的导电性能。

八、固溶强化，加工硬化，细晶强化，沉淀强化。

九、晶界影响到材料的各个方面，具有晶界能，影响到多晶材料中的第二相的形状，晶界可以运动，有晶界偏聚，晶界电荷变化，承担载荷传递作用，晶界熔点低，易过烧，晶界是易扩散通道，晶界处易形核，晶界易受腐蚀；晶界对金属材料在常温下强化，高温下弱化。

十、原子扩散对材料的影响如铸造中晶粒形核和长大、晶界运动、氧化等许多过程均涉及到原子扩散；金属中的上坡扩散实例如柯垂耳气团的形成，调幅分解过程等。

十一、试样热处理后的显微组织示意图（略，分别为纤维组织、再结晶组织和晶粒长大组织）；200℃ 加热试样强度高，塑性低，500℃ 加热试样强度低，塑性好，800℃ 加热试样强度更低，造成强度和塑性差别的主要原因是剧烈冷变形后的工业纯铜板在随后的加热中温度不同，分别经受回复、再结晶和晶粒长大的过程。

试 卷 十 九

2004 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：金属学原理

适用专业：材料科学与工程

一、名词解释 (5 分 × 8)

1. 金属玻璃 2. 金属间化合物 3. 离异共晶 4. 晶界偏聚 5. 科垂尔气团 (Cottrell Atmosphere) 6. 孪生 7. 反应扩散 8. 变形织构

二、问答题

1. (10 分) 标出图 19-1 所示 HCP 晶胞中晶面 $ABCDEF$ 面、 ABO' 面的晶面指数, OC 方向、 OC' 方向的晶向指数。这些晶面与晶向中, 哪些可构成滑移系? 指出最容易产生滑移的滑移系。

2. (10 分) 判断 $\frac{a}{6}[2\bar{1}1] + \frac{a}{6}[\bar{1}21] \rightarrow \frac{a}{6}[110]$ 位错反应在面心立方晶体中能否进行? 若两个扩展位错的领先位错发生上述反应, 会对面心立方金属性能有何影响?

3. (10 分) 写出非稳态扩散方程的表达式, 说明影响方程中扩散系数的主要因素。

4. (10 分) 指出影响冷变形后金属再结晶温度的主要因素。要获得尺寸细小的再结晶晶粒, 有哪些主要措施, 为什么?

5. (15 分) 试述针对工业纯铝、Al-5% Cu 合金、Al-5% Al_2O_3 复合材料分别可能采用哪些主要的强化机制来进行强化。

6. (15 分) 请在图 19-2 所示的 Pb-Bi-Sn 相图中:

(1) 写出三相平衡和四相平衡反应式;

(2) 标出成分为 5% Pb、65% Bi 与 30% Sn 合金所在位置, 写出该合金凝固结晶过程, 画出并说明其在室温下的组织示意图。

7. (20 分) Cu-Sn 合金相图局部如图 19-3 所示。

(1) 写出相图中三条水平线的反应式, 并画出 T_1 温度下的成分-自由能曲线示意图;

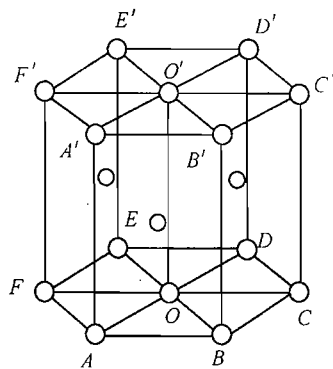


图 19-1 第二题第 1 小题图

(2) 说明 Cu-10wt%Sn 合金平衡和非平衡凝固过程, 分别画出室温下组织示意图;

(3) 非平衡凝固对 Cu-5wt%Sn 合金的组织性能有何影响, 如何消除?

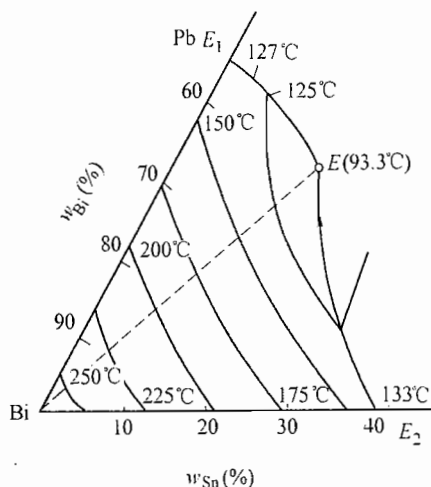


图 19-2 第二题第 6 小题图

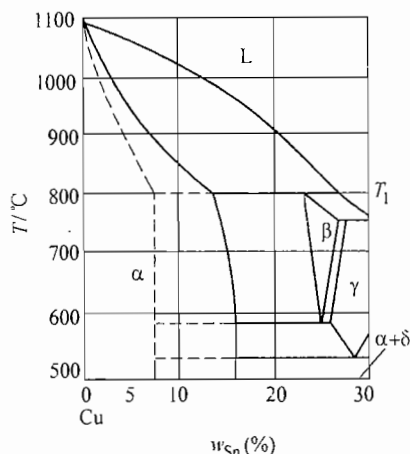


图 19-3 第二题第 7 小题图

8. (20分) 低层错能的工业纯铜铸锭采用 $T = 0.5T_{\text{熔点}}$ 温度热加工开坯轧制。

(1) 画出该材料分别在高、低应变速率下热加工时的真应力-真应变曲线示意图, 并说明影响曲线变化的各种作用机制。

(2) 开坯后该金属在室温下继续进行轧制, 画出此时的真应力-真应变曲线示意图, 并说明影响曲线变化的机制。

(3) 开坯后该金属要获得硬态、半硬态和软态制品, 最后工序中可采用哪些方法, 为什么?

标准答案

一、

1. 金属玻璃: 指金属从液态凝固后其结构与液态金属相同的固体。

2. 金属间化合物: 金属与金属、金属与某些非金属之间形成的化合物, 结构与组成金属间化合物的纯金属不同, 一般具有熔点高、硬度高、脆性大的特点。

3. 离异共晶: 有共晶反应的合金中, 如果成分离共晶点较远, 由于初晶数量多, 共晶数量很少, 共晶中与初晶相同的相依附初晶长大, 共晶中另外一个相呈现单独分布, 使得共晶组织失去其特有组织特征的现象。

4. 晶界偏聚: 由于晶内与晶界上的畸变能差别或由于空位的存在使得溶质原

子或杂质原子在晶界上的富集现象。

5. 科垂尔气团：溶质原子在刃型位错周围的聚集的现象，这种气团可以阻碍位错运动，产生固溶强化效应等结果。

6. 孪生：是晶体塑性变形的一种重要方式，晶体在切应力作用下，晶体的一部分沿着一定的晶面和晶向相对于另一部分晶体作均匀切变，使得相邻部分晶体取向不同，并以切变晶面（孪晶面）成镜面对称。

7. 反应扩散：伴随有化学反应而形成新相的扩散称为反应扩散，如从金属表面向内部渗入金属时，渗入元素浓度超过溶解度出现新相。

8. 变形组织：经过塑性变形后原来多晶体中位向不同的晶粒变成取向基本一致，形成晶粒的择优取向，择优取向后的晶体结构为组织，若组织是在塑性变形中产生的，称为变形组织。

二、

1. $ABCDEF$ 面的晶面指数为 (0001) 或 (001) ； ABO' 面的晶面指数为 $(10\bar{1}1)$ ； OC 方向的晶向指数为 $[\bar{1}2\bar{1}0]$ 或 $[010]$ ； OC' 方向的晶向指数为 $[\bar{1}2\bar{1}3]$ 或 $[011]$ ； (0001) 与 $[\bar{1}2\bar{1}0]$ 、 $(10\bar{1}1)$ 与 $[\bar{1}2\bar{1}0]$ 可构成滑移系；其中滑移系 $(0001)[\bar{1}2\bar{1}0]$ 容易产生滑移。

2. 参照几何条件和能量条件要求，位错反应可以进行；反应后位错不可动，影响晶体的加工硬化机制和断裂性能。

3. 非稳态扩散方程的表达式为：

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial \left(D \frac{\partial c}{\partial x} \right)}{\partial x}$$

若扩散系数 D 不随浓度变化，则可以简化为：

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

影响方程中扩散系数的主要因素有温度、晶体结构、晶体缺陷、固溶体类型、扩散元素性质、扩散组元浓度等。

4. 影响冷变形后金属再结晶温度的主要因素有：变形程度、微量杂质和合金元素、金属晶粒度、加热时间、加热速度；要获得尺寸细小的再结晶晶粒主要措施有：加大冷变形程度，加入微量合金元素，提高加热速度，采用细晶粒金属。

5. 对工业纯铝主要的强化机制为加工硬化、细晶强化； $Al-5\%Cu$ 合金的强化机制为固溶强化、沉淀强化、加工硬化、细晶强化； $Al-5\%Al_2O_3$ 复合材料的强化机制为加工硬化、细晶强化、弥散强化。

6.

(1) 三相平衡反应式: E_2E 线: $L \rightarrow Bi + Sn$; E_1E 线: $L \rightarrow Bi + Pb$; E 点为四相平衡, 其反应式为 $L \rightarrow Bi + Sn + Pb$ 。

(2) 合金所在位置 (略); 该合金凝固过程为: 析出初晶 $L \rightarrow Bi$, 剩余液相析出二元共晶, $L \rightarrow Bi + Sn$, 再从多余液相中析出三元共晶 $L \rightarrow Bi + Sn + Pb$; 室温下的组织为 $Bi_{\text{初晶}} + (Bi + Sn)_{\text{二元共晶}} + (Bi + Sn + Pb)_{\text{三元共晶}}$, 室温下的组织示意图 (略, Bi 初晶为块状, 二元共晶和三元共晶以点表示即可)。

7.

(1) 相图中三条水平线的反应式 (温度由高到低): 包晶反应: $L + \alpha \rightarrow \beta$, 共析反应 $\beta \rightarrow \alpha + \gamma$, 共析反应 $\gamma \rightarrow \alpha + \delta$; T_1 温度下的成分-自由能曲线示意图如图 19-4 所示。

(2) $Cu-10wt\%Sn$ 合金平衡凝固过程: 析出初晶 α , 凝固后得到单相固溶体 α 。

$Cu-10wt\%Sn$ 合金非平衡凝固过程: 析出初晶 α , 发生包晶反应 $L + \alpha \rightarrow \beta$ 形成 β , β 分布在 α 枝晶间隙, 随后还发生共析反应 $\beta \rightarrow \alpha + \gamma$ 和 $\gamma \rightarrow \alpha + \delta$, 最后形成 α 枝晶之间分布有块状 δ 或 $(\alpha + \delta)$ 共析体; 室温下组织示意图 (略)。

(3) $Cu-10wt\%Sn$ 合金非平衡凝固时由于溶质原子再分配而产生枝晶偏析; 造成合金铸锭强度低、加工塑性差, 枝晶偏析还使合金耐腐蚀性能降低; 消除枝晶偏析可以采用将铸锭在略低于固相线温度长时间均匀化退火。

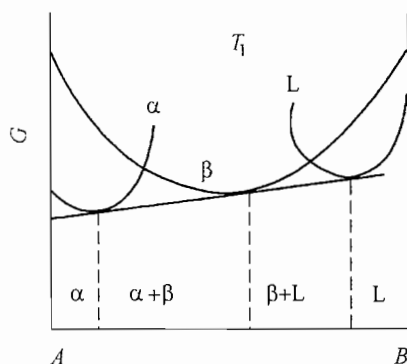


图 19-4 第二题第 7 小题
第 (1) 题解答图

8.

(1) 该材料热加工时的真应力-真应变曲线示意图 (略)。(注意曲线中均应有应力峰值, 在高应变速率下出现应力峰值后曲线基本水平, 在低应变速率下出现应力峰值后曲线呈波浪。)

高应变速率下曲线分三个阶段: 未发生动态再结晶的加工硬化阶段, 动态再结晶加剧阶段, 完全动态再结晶阶段 (此时加工硬化与再结晶软化达到平衡, 曲线接近水平, 达到稳态流变阶段)。

低应变速率下完全动态再结晶阶段呈波浪形, 是反复动态再结晶软化——加工硬化——动态再结晶软化交替进行的结果。

(2) 开坯后金属在室温下继续进行轧制的真应力-真应变曲线示意图 (略); 真应力-真应变曲线一直上升, 直至断裂, 主要机制为加工硬化。

(3) 开坯后要获得硬态金属, 可以进行冷加工, 机制为加工硬化; 获得软态制品, 可采用冷加工后再结晶退火; 获得半硬态制品, 可采用冷加工后回复退火, 或者完全再结晶退火后适当冷变形。

试 卷 二 十

2005 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料科学与工程

- 一、(15 分) 说明材料中的结合键与材料性能的关系。
- 二、(15 分) 任意选择一种材料，说明其可能的用途和加工过程。
- 三、(15 分) 针对图 20-1 所示 Mg-Y 相图，回答下列问题：
 1. 已知 Mg 为 HCP 结构，计算 Mg 晶胞的致密度。
 2. 写出相图上等温反应，及图中 $Y=5\% \text{ wt}$ 的 K 合金在室温下的平衡组织。
 3. 指出提高 K 合金强度的方法。
 4. 计算 $Y=18\% \text{ wt}$ 的合金在刚凝固完毕时的组织组成百分含量。

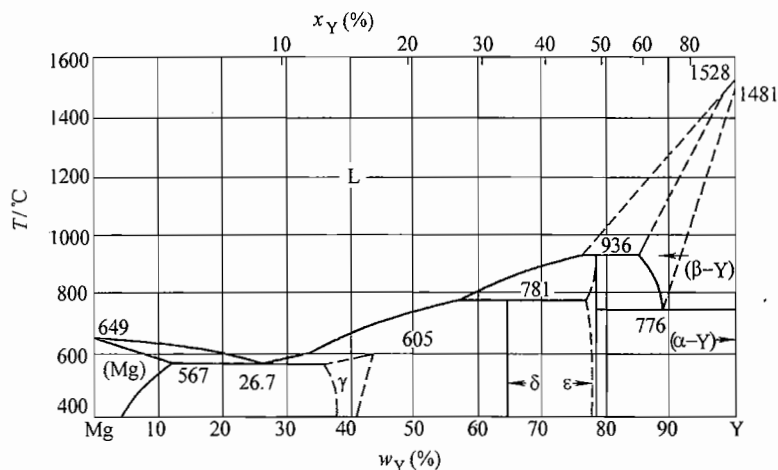


图 20-1 第三题图

四、(15 分) 图 20-2 所示为 A-B-C 三元相图投影，三个组元在液态无限互溶，在固态有限溶解，固溶度随温度变化， e_1p 、 e_2p 、 e_3p 是液相的成分变化线，其他箭头表示固相成分变化，试回答：

1. 合金 1 在常温下的组织组成物。
2. 用数学表达式表示合金 2 在常温下相组成物的百分含量。
3. 画出合金 3 从液相到室温的冷却曲线，写出各温度区间的反应式，并在

三相反应中标明相成分变化趋势。

4. 若 α 、 β 、 γ 均为同等作用的强化相, 分析合金 1、2、3 在热处理中的强化效果大小。

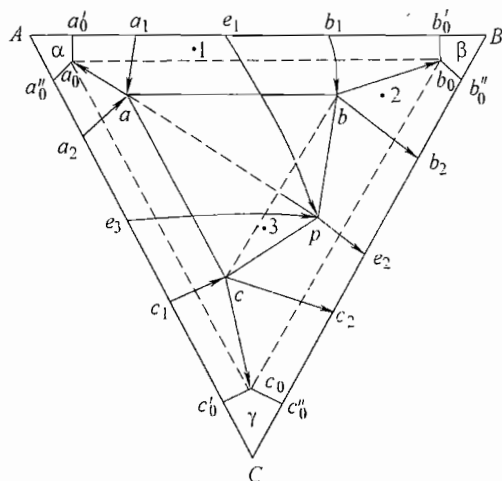


图 20-2 第四题图

五、(15 分) 何谓加工硬化? 列出加工硬化的各种可能机制, 说明加工硬化在工业上的应用。

六、(10 分) 简要说明第二相在冷塑性变形过程中的作用。

七、(15 分) 如图 20-3 所示, 在柏氏矢量为 \vec{b}_1 的位错 1 的应力场中, 存在位错 2, 其柏氏矢量为 \vec{b}_2 , 位错 1、位错 2 均为刃型位错。问: 位错 1 的应力场中哪一个应力分量使位错 2 滑移, 哪一个应力分量使位错 2 攀移? 写出受力表达式。(不考虑位错运动时受到的阻力)

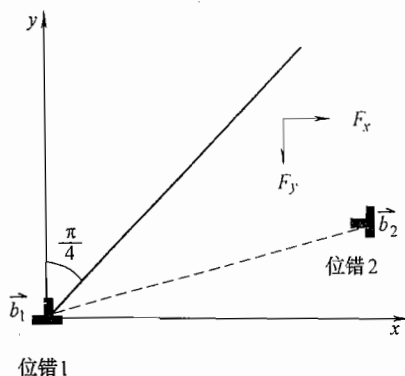


图 20-3 第七题图

八、(15 分) 讨论织构的利弊及控制方法。

九、(15分)

1. 简要说明影响扩散系数的因素。

2. 若已知碳在奥氏体中扩散系数 $D = 0.2 \exp(-138 \times 10^3/RT) \text{ cm}^2/\text{s}$, 问在 927°C 时使试样表面 1mm 深度处碳浓度达到 0.5% 所需时间。试样为纯铁, 927°C 时碳在奥氏体中最大溶解度为 1.3% , 误差函数如表 20-1 所示。

表 20-1 第九题表 $\left[\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right]$ 与 $\text{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$ 的对应值

$\frac{x}{2\sqrt{Dt}}$	$\text{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$	$\frac{x}{2\sqrt{Dt}}$	$\text{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$	$\frac{x}{2\sqrt{Dt}}$	$\text{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$
0.0000	0.0	0.7	0.6778	1.4	0.9523
0.1125	0.1	0.8	0.7421	1.5	0.9661
0.2227	0.2	0.9	0.7969	1.6	0.9763
0.3286	0.3	1.0	0.8247	1.7	0.9838
0.4284	0.4	1.1	0.8802	1.8	0.9891
0.5205	0.5	1.2	0.9103	1.9	0.9928
0.6039	0.6	1.3	0.9340	2.0	0.9953

十、(20分) 试说明晶粒大小对金属材料室温及高温力学性能的影响, 在生产中如何控制材料的晶粒度?

标准答案

一、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, 具有正的电阻温度系数就与金属的金属键有关。陶瓷、聚合物一般在固态下不导电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。

二、略

三、

1. 0.74。

2. 相图上等温反应, 936°C : $\text{L} + \beta - \text{Y} \rightarrow \epsilon$; 781°C : $\text{L} + \epsilon \rightarrow \delta$; 776°C : $\beta - \text{Y} \rightarrow \alpha - \text{Y} + \epsilon$; 567°C : $\text{L} \rightarrow (\text{Mg}) + \gamma$ 。图中 $\text{Y} = 5\% \text{ wt}$ 的 K 合金在室温下的平衡组织为 $(\text{Mg}) + \gamma_{\text{II}}$ 。

3. 提高 K 合金强度的方法有加工硬化、细晶强化和沉淀强化。

4. $\text{Y} = 18\% \text{ wt}$ 的合金在刚凝固完毕时的组织组成为 $(\text{Mg})_{\text{初晶}} + [(\text{Mg}) + \gamma_{\text{II}}]_{\text{共晶}}$, $(\text{Mg})_{\text{初晶}}\% = 40.8\%$, $[(\text{Mg}) + \gamma_{\text{II}}]_{\text{共晶}}\% = 59.2\%$ 。

四、

1. $\alpha_{\text{初晶}} + (\alpha + \beta)_{\text{共晶}}$ 。

2. 合金 2 在常温下相组成物为 α 、 β 、 γ , 设 a_0c_0 延长交 b_0c_0 于 D 点, b_0c_0 延长交 a_0c_0 于 E 点, c_0b_0 延长交 a_0b_0 于 F 点, 则 $\alpha\% = 2D/a_0D\%$, $\beta\% = 2E/b_0E\%$, $\gamma\% = 2F/c_0F\%$ (或其他表达式)。

3. 合金 3 从液相到室温的冷却曲线 (略); 各温度区间的反应式为: $\text{L} \rightarrow \gamma$, $\text{L}_{e_3} \rightarrow p \rightarrow \alpha_{a_2} \rightarrow a + \gamma_{c_1} \rightarrow c$, $\text{L}_p + \alpha_a \rightarrow \beta_b + \gamma_c$, $\beta_b \rightarrow b_0$ 与 $\gamma_c \rightarrow c_0$ 互析, α 、 β 、 γ 同析。

4. 合金 1、2、3 在热处理中的强化效果: $2 > 3 > 1$ 。

五、金属在冷加工过程中流变应力随应变的增加而增加的现象称为加工硬化。

加工硬化的机制主要是位错之间的相互作用, 如割阶的形成, 位错交截、缠结, 位错运动中与林位错的作用, 面角位错的形成, 以及溶质原子与位错的作用形成溶质原子气团等。

加工硬化在工业上的应用: 金属在加工过程中塑性变形抗力不断增加, 使金属变脆, 需要进行多次中间退火, 使金属的冷加工需要消耗更多的功率; 加工硬化使金属基体具有一定的抗偶然过载的能力; 加工硬化和塑性变形适当配合可使金属进行均匀塑性变形, 有些加工方法要求金属必须有一定的加工硬化; 加工硬化也是强化金属的重要手段之一, 对某些纯金属加工硬化是提高强度的重要办法; 有些零部件在工作条件下表面会不断硬化, 达到表面耐冲击、耐磨损的要求; 经过加工硬化后材料塑性降低, 可以改善材料如低碳钢的切削加工性能; 可以通过冷加工控制产品的最后性能。

六、复相合金的主要变形方式仍然是滑移和孪生, 由于合金中第二相的种类、数量、大小、形状、分布特点及与基体界面结合的不同, 第二相对塑性变形的影响也很复杂。如果复相合金中两个相都具有塑性, 第二相的尺寸大小、变形能力与基体相差不大, 则合金的变形决定于两相的体积分数; 如果两相中一个是塑性相, 而另一个是硬脆相时, 合金的塑性变形主要取决于硬脆相的存在情况,

第二相粗大或呈大针状, 变形只在基体中进行, 合金的塑性都不会很高; 如果第二相连续分布在固溶体的晶界上, 合金很脆, 几乎不能进行塑性变形。

弥散分布的第二相能够产生显著的强化作用, 使合金获得良好的综合力学性能, 强度很高, 塑性也好, 这类合金的塑性变形主要在基体相中进行。

七、位错 1 的应力场中 τ_{xy} 分量使位错 2 滑移, σ_{yy} 分量使位错 2 攀移。设位错 1 与位错 2 距离为 $r(x, y)$, 则

$$\text{使位错 2 滑移的力 } F_y = \frac{G b_1}{2\pi(1-\nu)} \cdot \frac{x(x^2 - y^2)}{(x^2 + y^2)^2} \cdot b_2$$

$$\text{使位错 2 攀移的力 } F_x = \frac{G b_1}{2\pi(1-\nu)} \cdot \frac{y(x^2 - y^2)}{(x^2 + y^2)^2} \cdot b_2$$

八、织构引起金属的各向异性, 各向异性在很多情形下对金属的加工和使用带来麻烦。深冲金属杯子可能产生制耳。具有织构的多晶体金属棒经过多次反复加热和冷却后会显著伸长。

但有的情况下要设法获得某种织构, 利用其各向异性, 如变压器用的硅钢片、精密电子电容器的高压电子铝箔以及应用于汽车、机械等部门要求优越的超深冲压性能的无间隙原子钢, 对不可热处理强化的铝合金可以通过冷变形产生加工硬化来强化合金。

控制织构的一种方法是控制加工和热处理制度, 得到只有轻微织构的加工组织, 得到细晶粒的再结晶组织; 还可以改变轧板的生产工艺, 冷加工中的中间再结晶退火和最终回复退火的结合可以控制织构, 可以采用交叉轧制的方法, 铝合金薄板热轧过程的控制和多方向交叉冷轧以及相应退火来减少制耳的形成。

九、

1. 影响扩散系数的因素有: 温度的影响, 随温度的升高, 扩散系数急剧增大; 晶体缺陷的影响, 原子沿线缺陷(位错)和面缺陷(晶界和自由表面等)的扩散速率远比沿晶内的体扩散速率大; 在具有同素异构转变的金属中, 扩散系数随晶体结构的改变会有明显的变化, 溶质原子在 BCC 晶体结构中的扩散系数比在 FCC 中的大。

晶体的各向异性对扩散系数也有影响, 但这种异向性随温度的升高逐渐减小。

间隙原子的扩散激活能比置换式原子的扩散激活能小得多。

扩散元素的性质与溶剂金属的性质差别越悬殊, 则扩散系数越大。

在许多固溶体合金中, 溶质的扩散系数随浓度的增加而增加, 溶质元素能使合金熔点降低的(或引起液相线下降的)均能使扩散系数增加; 反之, 使扩散系数降低。

第三元素对二元合金中组元的扩散也有影响, 与合金中组元形成化合物的第

三元素阻碍溶质原子的扩散，从而降低扩散系数。

2. 略。

十、室温强化，高温弱化。

生产中控制材料的晶粒度有铸造中细化，加工中通过控制轧制细化热加工组织，再结晶退火中依靠合金元素和微量元素阻止晶粒长大，结合再结晶全图综合考虑冷变形加工量和加热温度的关系。

考
适
说

系

不

试卷二十一

2006 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料科学与工程

说明：第一~第四题中任意选做 3 题（每题 20 分），第五~第十题全做（每题 15 分）

- 一、说说你对材料的成分、组织、工艺与性能之间的关系的理解。
- 二、谈谈你所了解的新材料、新工艺。
- 三、试举例分析材料加工过程对材料使用性能的影响。
- 四、谈谈你对高强度材料的理解。
- 五、试绘出体心立方晶胞示意图，在晶胞中画出体心立方晶体的一个滑移系，标出指数；说明体心立方结构的单相固溶体合金在冷塑性变形中的特点。
- 六、对如图 21-1 所示相图，以富 A 的合金为例：
 1. 指出理论上适合作为铸造合金、变形合金的成分范围，可以热处理强化、不可热处理强化的合金成分范围。
 2. 分析合金 1 的平衡结晶过程，简述强化合金 1 的方法有哪些。

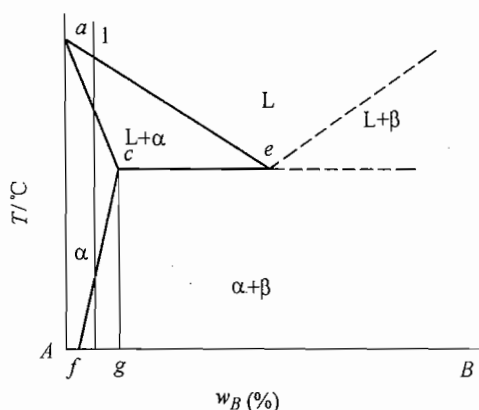


图 21-1 第六题图

- 七、解释位错的基本概念，总结位错在材料中的作用。
- 八、如何通过变形与加热来控制材料的组织和性能？

九、对如图 21-2 所示 Fe-Cr-C 三元相图的变温截面，写出图中合金 1 (Fe-13%Cr-0.2%C) 的平衡结晶过程，比较其室温组织与 Fe-0.2%C 合金室温组织的区别。

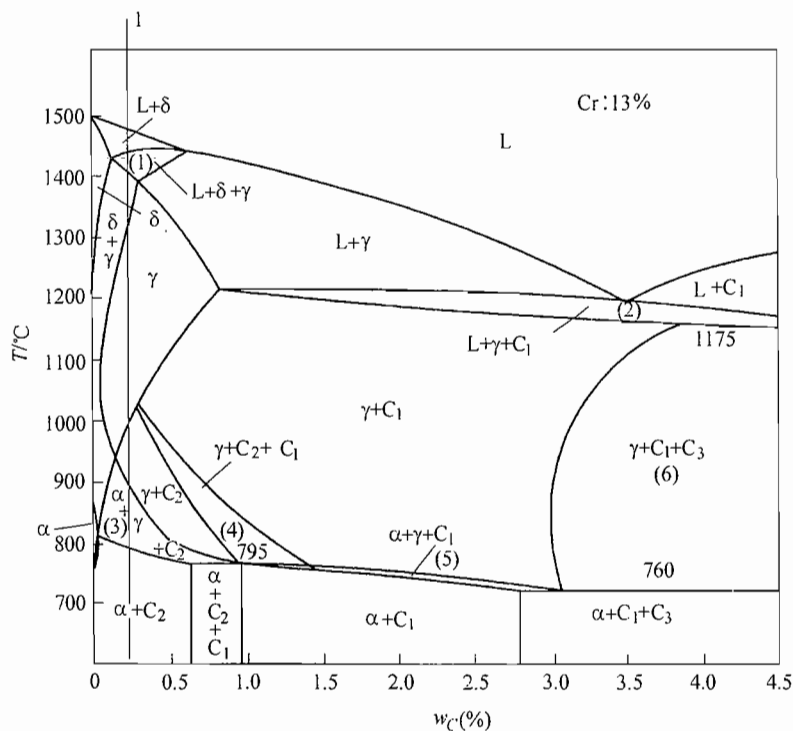


图 21-2 第九题图

十、解释上坡扩散、扩散机制，总结扩散在材料科学中的应用。

标准答案

一、略。

二、略。

三、略。

四、略。

五、体心立方晶胞示意于图 21-3，晶胞中的一个滑移系为(111)[$\bar{1}11$]。

体心立方结构的单相固溶体合金在冷塑性变形表现出的特点为加工硬化、屈服现象和应变时效。

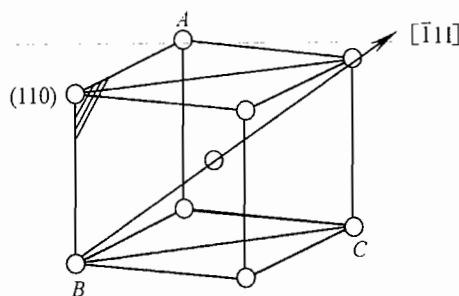


图 21-3 第五题解答图

六、

1. 对如图所示相图, 以富 A 的合金为例, 理论上适合作为铸造合金的成分范围为 ce 范围的合金, 适合作为变形合金的成分范围为 Ag 范围的合金, 可以热处理强化合金的成分范围为 fg 范围的合金, 不可热处理强化的合金成分范围为 Af 范围的合金。

2. 合金 1 的平衡结晶过程为: $L, L \rightarrow \alpha, \alpha, \alpha \rightarrow \beta_{II}$ 。强化合金 1 的基本方法有: 细化晶粒、弥散第二相强化、加工硬化。

七、位错是晶体结构中一种排列缺陷, 可以分为刃型位错、螺型位错和混合位错。

位错可以极大影响材料性能表现, 位错在材料中的作用有多种:

(1) 金属材料的塑性变形是通过位错运动完成的。

(2) 位错周围具有畸变应力场, 与第二相粒子, 通过切过或绕过机制强化材料, 冷加工中位错密度增加也能强化材料, 或通过形成柯垂尔气团强化材料, 以及位错运动中相互交截, 或形成割阶、面角位错等使材料强化; 可以影响材料的强度。

(3) 影响第二相的析出, 对再结晶中的晶核形成机制等固态相变有影响。

(4) 位错周围是优先扩散通道。

八、变形与加热可以作为控制材料的组织和性能的有效手段, 如冷变形可以带来加工硬化、纤维组织、内应力、织构及其他物理、化学性能变化, 冷变形金属加热后可以通过回复、再结晶中引起的组织、性能变化获得需要的组织与性能。

九、在 Fe-Cr-C 三元相图的变温截面中, Fe-13%Cr-0.2%C 合金的平衡结晶过程为: $L, L \rightarrow \delta, L + \delta \rightarrow \gamma, \delta \rightarrow \gamma, \gamma \rightarrow C_2, \gamma \rightarrow C_2 + \alpha, \alpha \rightarrow C_2$; 室温组织为珠光体 (共析产物) 与碳化物。

Fe-0.2%C 合金室温组织为铁素体和珠光体 (共析产物), Fe-13%Cr-0.2%C 合金出现了 Fe-C 在过共析成分才出现的组织。

十、上坡扩散是扩散过程中扩散元素从低浓度向高浓度处扩散；如各种溶质原子气团的形成和共析反应产物的形成均为上坡扩散。

扩散机制主要为：间隙固溶体中溶质原子在间隙中发生间隙扩散，在置换式固溶体中发生原子与空位交换实现扩散的空位机制。

原子扩散在材料中的作用包括：晶体凝固时形核、长大；合金的成分过冷；成分均匀化，包晶反应非平衡凝固时保留高温组织的特点，固态相变时的形核，晶界形核，晶界运动、晶界偏聚、高温蠕变，氧化，焊接，化学热处理（渗 C、N 等），粉末冶金，涂层等各方面。

南京工业大学

试卷二十二

2003 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目: 材料物理化学

适用专业: 材料学、材料物理与化学

一、是非题 (10 分) (正确的打“√”, 错误的打“×”)

1. 在宏观晶体中所存在的对称要素都必定通过晶体的中心。
2. 等轴晶系的对称特点是具有 4 根 3 次轴。
3. 微观对称要素的核心是平移轴。
4. CVD 法制备的非晶态硅也具有玻璃的四个通性。
5. 有序-无序转变是指晶体与非晶体之间的转变。
6. 固溶体是一种溶解了杂质组分的非晶态固体。
7. 大多数固相反应是由扩散速度所控制的。
8. 在低温时, 一般晶体中发生的扩散是本征扩散。
9. 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。
10. 烧结是一个包含了多种物理和化学变化的过程。

二、选择题 (15 分)

1. 在等轴晶系中, 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) F, I, C
2. 晶体结构中一切对称要素的集合称为_____。
(a) 对称型 (b) 点群 (c) 微观对称的要素的集合 (d) 空间群
3. 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
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. 在面心立方晶体结构中, 密排面是_____。
(a) $\{001\}$ 面 (b) $\{011\}$ 面 (c) $\{111\}$ 面

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) CaF_2 (b) PbF_2 (c) PbI_2 (d) BaSO_4 (e) SrSO_4

7. 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 (A);

当扩散系数的热力学因子 < 0 时, 扩散结果使溶质 (B)。

- (a) 发生偏聚 (b) 浓度不改变 (c) 浓度趋于均匀

8. 在石英的相变中, 属于重建型相变的是_____。

- (a) α -石英 \rightleftharpoons α -鳞石英 (b) α -石英 \rightleftharpoons β -石英

- (c) α -鳞石英 \rightleftharpoons α -方石英 (d) α -方石英 \rightleftharpoons β -方石英

9. 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_____。

- (a) 表面扩散 (b) 流动传质 (c) 蒸发-凝聚 (d) 晶界扩散

三、填空题 (20 分)

1. 晶胞是 (1)。

2. 空间群为 $\text{Fm}\bar{3}\text{m}$ 的晶体结构属于 (2) 晶族, (3) 晶系。

3. 晶体结构与它的 (4)、(5) 和 (6) 有关。

4. 当有少量的 CaO 加入到 ThO_2 晶格中形成固溶体时, 试写出可能存在的缺陷反应方程式和固溶式:

缺陷反应方程式 (7) 和对应的固溶式 (8)。

缺陷反应方程式 (9) 和对应的固溶式 (10)。

5. 粘土荷电的主要原因有: (11)、(12) 和 (13)。

6. 熔体结构的聚合物理论认为熔体是 (14) 的混合物, 聚合物的 (15)、(16) 和 (17) 随熔体的组成和温度而变化。

7. 在玻璃性质随温度变化的曲线上有二个特征温度 (18) 和 (19), 与这两个特征温度相对应的粘度分别为 (20) 和 (21)。

8. 本征扩散是由 (22) 而引起的质点迁移, 本征扩散的活化能由 (23) 和 (24) 两部分组成, 扩散系数与温度的关系式为: (25)。

9. 马氏体相变具有以下的一些特征: (26)、(27)、(28) 和 (29) 等。

四、名词解释 (15 分) (任选五题, 如果全做只取前五题)

1. 网络形成体 2. 一级相变 3. 肖特基 (Schottky) 缺陷 4. 同质多晶 5. 润湿 6. 均匀成核 7. 非化学计量结构缺陷 8. 晶粒生长

五、论述题 (25 分) (1、2 题必做, 每题 8 分; 3、4 题中任选一题, 9 分)

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. 固相烧结与液相烧结的主要传质方式? 固相烧结与液相烧结之间有何相同与不同之处?

3. 简述晶粒生长与二次再结晶的特点, 以及造成二次再结晶的原因和防止二次再结晶的方法。

4. 简述等大球体的二种最紧密堆积方式, 并说明其中的空隙的种类和数量关系。

六、相图分析 (15 分) (A-B-C 三元相图如图 22-1 所示, 本题作图部分直接画在图中)

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. 指出三元化合物 S 的性质。
4. 说明 E、F、H 点的性质, 并列相变式。

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)。

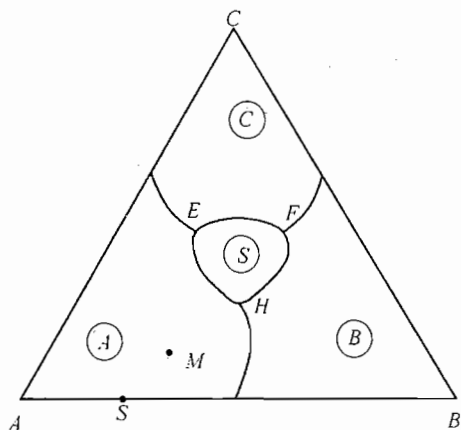


图 22-1 第六题图

标准答案

一、1.√; 2.√; 3.√; 4.×; 5.×; 6.×; 7.√; 8.×; 9.×; 10.×。

二、1. b; 2. d; 3. a; 4. a; 5. c; 6. c; 7. (A) c、(B) a; 8. a、c; 9. c。

三、(1) 能充分反映整个晶体结构特征的最小结构单元; (2) 高级; (3) 立方; (4) 化学组成; (5) 质点的相对大小; (6) 极化性质; (7) $\text{CaO} \xrightarrow{\text{ThO}_2} \text{CaTh}'' + \text{O}_0 + \text{V}_\text{O}''$; (8) $\text{Th}_{1-x}\text{Ca}_x\text{O}_{2-x}$; (9) $2\text{CaO} \xrightarrow{\text{ThO}_2} \text{CaTh}'' + \text{Ca}_i'' + 2\text{O}_0$; (10) $\text{Th}_{1-x}\text{Ca}_{2x}\text{O}_2$; (11) 同晶置换; (12) 腐殖质离解; (13) 边面破键; (14) 是不同聚合程度的各种聚合物; (15) 种类; (16) 数量; (17) 大小; (18) T_g ; (19) T_f ; (20) $10^{13} \text{dPa}\cdot\text{s}$; (21) $10^8 \text{dPa}\cdot\text{s}$; (22) 本征热缺陷所产生的空位; (23) 空位形成能; (24) 质点迁移能; (25) $D = D_0 \exp\left(-\frac{\Delta H_f/2 + \Delta H_m}{RT}\right)$; (26) 存在习性平面; (27) 取向关系; (28) 无扩散性; (29) 速度快 (或没有特定的相变温度)。

四、

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

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. 肖特基 (Schottky) 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, 跃迁到晶体的表面, 并在原正常格点上留下空位。

4. 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。

5. 润湿: 固体与液体接触后, 体系的吉布斯自由能降低时称为润湿。

6. 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的成核方式。

7. 非化学计量结构缺陷: 某些化合物的组成会随着周围气氛的性质和压力大小的变化, 而偏离其化学计量比, 这类化合物叫非化学计量化合物。由于组成偏离化学计量比而产生的缺陷叫非化学计量结构缺陷。

8. 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。

五、

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

2. 固相烧结有蒸发-凝聚传质和扩散传质; 液相烧结有流动传质和溶解-沉淀传质; 相同点: ①烧结推动力, ②烧结过程; 不同点: ①烧结速率, ②致密化过程, ③影响因素。

3. 晶粒生长的特点: 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。

二次再结晶的特点: 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。

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。

4. 等大球体的二种最紧密堆积方式: 主要有立方最紧密堆积和六方最紧密堆积; 立方最紧密堆积方式是密排面按 $ABCABC\cdots$ 的方式排列, 六方最紧密堆积方式是密排面按 $ABAB\cdots$ 的方式排列。

空隙的种类和数量关系: 等大球体作最紧密堆积时, 空隙主要有八面体空隙和四面体空隙, 当有 n 个球作最紧密堆积时就会产生 n 个八面体空隙和 $2n$ 个四面体空隙。

六、

1. 2 个分三角形 ($\triangle ACS$, $\triangle BCS$)

2. 见图 22-2。

3. S 为低温和定高温分解的二元化合物。

4. E 单转熔点 $L_E + A \rightarrow C + S$

F 低共熔点 $L_F \rightarrow B + C + S$

H 双转熔点形式的无变量点 $L_H + A + B \rightarrow L_H + S(A + B \xrightarrow{L_H} S)$

5. M 点析晶路程见图 22-2。

液相: $M \xrightarrow[f=2]{L \rightarrow A} a \xrightarrow[f=1]{L \rightarrow A+B} H(A+B \xrightarrow[f=0]{L} S) \xrightarrow[f=1]{L+A \rightarrow S} c$
 $\xrightarrow[f=2]{L \rightarrow S} d \xrightarrow[f=1]{L \rightarrow C+S} F(L \xrightarrow[f=0]{} B+C+S)$

固相: $A \rightarrow b \rightarrow S \rightarrow e \rightarrow M$

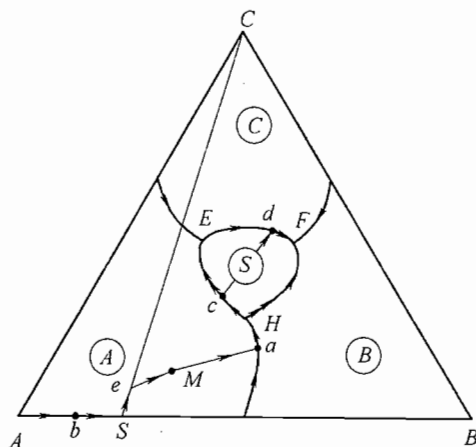


图 22-2 第六题解答图

试卷二十三

2004 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料物理化学

适用专业：材料学、材料物理与化学、材料加工工程

一、是非题 (15 分) (正确的打“√”，错误的打“×”)

1. 在四方晶系中，(100) 面必定与 (110) 面相交成 45° 角。
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. 鲍林规则适用于所有的晶体结构。
4. 晶体结构中存在着无数多根平移轴。
5. 刃位错的位错线平行于滑移方向。
6. 非化学计量结构缺陷是由于掺杂而产生的一种杂质缺陷。
7. 长石是属于层状结构的硅酸盐晶体。
8. 对于有的材料来说，不管冷却速率多么快，都不可能形成玻璃。
9. 大多数固相反应是由扩散速度所控制的。
10. 粘土泥浆的流动属于塑性流动。
11. 一般来说，晶界是气孔通向烧结体外的主要扩散通道。
12. 在低温时，一般晶体中发生的扩散是非本征扩散。
13. 熔体在冷却过程中，过冷度越大总的析晶速率也越大。
14. 杨德尔方程比金斯特林格方程的适用范围大。
15. 狭义上讲，相变过程是一个物理变化过程。

二、选择题 (17 分)

1. 空间点阵是由_____在空间作有规律的重复排列。
(a) 原子 (b) 离子 (c) 几何点 (d) 分子
2. 在等轴晶系中，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) F, I, C
3. 点群为 $Fm\bar{3}m$ 的晶体结构属于_____晶系。
(a) 等轴 (b) 六方 (c) 四方 (d) 正交
4. ABO_3 (钙铁矿) 型结构中，B 离子占有_____。
(a) 四面体空隙 (b) 八面体空隙
(c) 立方体空隙 (d) 三方柱空隙

5. 蒙脱石属于_____类型的硅酸盐结构。
 (a) 岛状硅酸盐结构 (b) 层状硅酸盐结构
 (c) 链状硅酸盐结构 (d) 架状硅酸盐结构
6. 在非化学计量化合物 $Cd_{1+x}O$ 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
7. 泥浆胶溶必须使介质呈(A), 还必须有(B)价阳离子交换粘土中原来吸附的阳离子。
 (a) 酸性 (b) 碱性 (c) 中性 (d) 一价 (e) 二价 (f) 三价
8. 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) CaF_2 (b) PbF_2 (c) PbI_2 (d) $BaSO_4$ (e) $SrSO_4$
9. 在下列几类晶体中, 形成间隙型固溶体的次序是_____。
 (a) 沸石 > CaF_2 > TiO_2 > MgO (b) MgO > TiO_2 > CaF_2 > 沸石
 (c) CaF_2 > TiO_2 > MgO > 沸石 (d) TiO_2 > MgO > CaF_2 > 沸石
10. 在 $RO-SiO_2$ 的系统中: (1) $MgO-SiO_2$; (2) $CaO-SiO_2$; (3) $SrO-SiO_2$; (4) $BaO-SiO_2$ 的分相区范围的大小次序为_____。
 (a) (1) > (2) > (3) > (4) (b) (4) > (3) > (2) > (1)
 (c) (2) > (1) > (3) > (4) (d) (3) > (4) > (2) > (1)

三、填充题: (30 分)

1. 晶体的本质(1)。
2. 在等大球体的最紧密堆积中有(2)和(3)二种排列方式, 前者的堆积方式是(4), 后者的堆积方式是(5)。
3. 硅酸盐晶体分类的依据是(6)。
4. 在面心立方晶体结构中, 密排面是(7)。
5. 水和粘土作用后, 在粘土胶粒周围随距离的增大可为: (8)、(9)和(10)。
6. 在玻璃性质随温度变化的曲线上有二个特征温度(11)和(12), 与这两个特征温度相对应的粘度分别为(13)和(14)。
7. 由于(15)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: (16)和(17)。

8. 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(18);
 当扩散系数的热力学因子 < 0 时, 扩散结果使溶质(19)。

9. 熔体中析晶的过程分二步完成, 首先是 (20), 然后就是 (21) 过程。均匀成核的成核速率是由 (22) 因子和 (23) 因子所决定的。

10. 烧结的主要传质方式有 (24)、(25)、(26) 和 (27) 四种。这四种传质过程的坯体线收缩 $\Delta L/L$ 与烧结时间的关系依次为 (28)、(29)、(30) 和 (31)。

11. 可逆多晶转变的特点是: (32)。

12. 在 $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系相图中, 有低共熔点 8 个、双升点 7 个、鞍形点 9 个, 按相平衡规律该三元系统可划分成 (33) 分三角形。(注: 鞍形点是界线与相应连线的交点)

四、名词解释: (20 分) (任选五题, 如果全做只取前五题)

- | | |
|----------------------|------------------------|
| 1. 网络变性体 | 2. 二级相变 |
| 3. 弗伦克尔 (Frenkel) 缺陷 | 4. 热力学势函数 (ϕ 函数) |
| 5. 尖晶石结构 | 6. 同质多晶 |
| 7. 点群 | 8. 独立组分 |

五、计算题 (20 分) (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 。

2. 当有 10mol% 的 CaO 加入到 ThO_2 晶格中形成固溶体时, 试写出可能的缺陷反应方程式, 并求出其相应的固溶式。

3. 在制造 Al_2O_3 陶瓷材料时, 原料粉末的粒度为 $2\mu\text{m}$ 。在烧结温度下保温 30 分钟, 测得晶粒尺寸为 $10\mu\text{m}$, 则在同一烧结温度下保温 2 小时后, 晶粒尺寸为多少 μm ? 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 2 小时, 则晶粒尺寸为多少 μm ?

4. 非化学计量化合物 Fe_xO 中, $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+} = 0.1$, 求 Fe_xO 中的 x 值和空位缺陷的浓度。

六、论述题 (30 分) (1、2 二题必做, 3、4 题中任选一题)

1. 简述晶粒生长与二次再结晶的特点, 以及造成二次再结晶的原因和防止二次再结晶的方法。

2. 何为本征扩散和非本征扩散? 本征扩散和非本征扩散各有什么特点?

3. 固相烧结与液相烧结之间有何相同与不同之处?

4. 简述形成连续置换型固溶体的条件是什么?

七、相图分析 (18 分) ($A-B-C$ 三元相图如图 23-1 所示, 本题作图部分直接画在图中)

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_1 和 S_2 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数）。

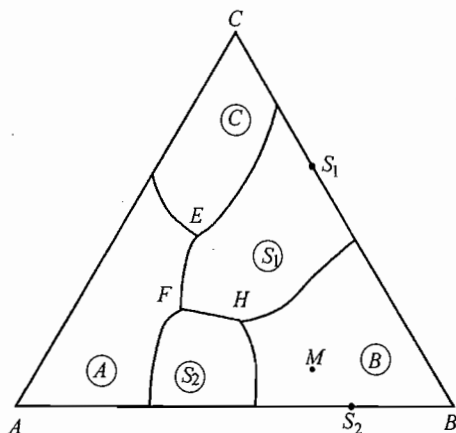


图 23-1 第七题图

标准答案

一、1. \checkmark ; 2. \checkmark ; 3. \times ; 4. \checkmark ; 5. \times ; 6. \times ; 7. \times ; 8. \times ; 9. \checkmark ; 10. \checkmark ; 11. \checkmark ; 12. \checkmark ; 13. \times ; 14. \times ; 15. \checkmark 。

二、1. c; 2. b; 3. a; 4. b; 5. b; 6. d; 7. b、d; 8. c; 9. a; 10. a。

三、(1) 是质点在三维空间成周期性重复排列; (2) 立方密堆; (3) 六方密堆; (4) $ABCABC \cdots$; (5) $ABAB \cdots$; (6) $[\text{SiO}_4]$ 之间的连接方式; (7) $\{111\}$ 面; (8) 牢固结合水; (9) 松结合水; (10) 自由水; (11) T_g ; (12) T_f ; (13) $10^{13} \text{dPa} \cdot \text{s}$; (14) $10^8 \text{dPa} \cdot \text{s}$; (15) 不等价离子的掺杂; (16) 掺杂量; (17) 固溶度; (18) 浓度趋于均匀化; (19) 发生偏聚; (20) 成核; (21) 晶体生长; (22) P ; (23) D ; (24) 蒸发-凝聚传质; (25) 扩散传质; (26) 流动传质; (27) 溶解-沉淀传质; (28) $\frac{\Delta L}{L_0} = 0$; (29) $\frac{\Delta L}{L_0} \propto t^{2/5}$; (30) $\frac{\Delta L}{L_0} \propto t$; (31) $\frac{\Delta L}{L_0} \propto t^{1/3}$; (32) 多晶转变的温度低于二个晶相的熔点; (33) 15 个。

四、

1. 网络变性体：其单键能 $\leq 250 \text{kJ/mol}$ ，不能单独形成玻璃的物质，但它能改变玻璃的结构，从而改变玻璃的性质。

2. 二级相变：相变时两相的化学势相等，其一阶偏微商也相等，但化学势的二阶偏微商不相等。发生二级相变时无相变潜热和体积的变化，只有热容量、膨胀系数和压缩系数的变化。

3. 弗仑克尔 (Frenkel) 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. 热力学势函数 (ϕ 函数): 热力学势函数是热力学基本函数的一种组合, 热力学势函数也是一种连续的状态函数。

5. 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。

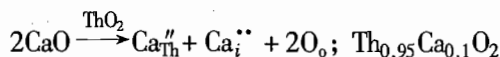
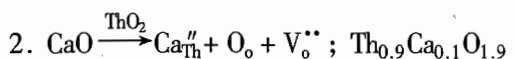
6. 同质多晶: 化学组成相同的物质, 在不同的热力学条件下会形成结构不同的晶体。

7. 点群: 宏观晶体中对称要素的集合。

8. 独立组分: 决定一个相平衡系统的成分所必须的最少物种 (组分) 数, 称为独立组分数。

五、

$$1. Z=4, R=2.2, Y=3.6, X=0.4。$$



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

$$4. \text{Fe}_x\text{O} \xrightarrow{\text{FeO}} \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow 2\text{Fe}_{\text{Fe}}^\bullet + \text{V}_{\text{Fe}}'' + 3\text{O}_\text{o}; \text{Fe}_{1-3\gamma}^{2+}\text{Fe}_{2\gamma}^{3+}\text{O}; \frac{2\gamma}{1-3\gamma} = 1/10, \gamma = 1/23 = 0.043, \text{则 } x = 1 - \gamma = 0.957, \text{空位浓度为 } 0.043/(1 + 0.957) = 2.2\%$$

六、

1. 晶粒生长的特点: 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。

二次再结晶的特点: 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。

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。

2. 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二部分组成, 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。

3. 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。

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。

4. 简述形成连续置换型固溶体的条件是：离子尺寸因素，相互替代的二种离子的半径差 $(r_1 - r_2)/r_1 < 15\%$ ；两个组分必需具有完全相同的晶体结构类型；只有离子价相同或复合取代离子价总和相同时，才能形成连续置换型固溶体；电负性与极化性质相近。

七、

1. 三个分三角形 ($\triangle ACS_1$ 、 $\triangle AS_1S_2$ 、 $\triangle BS_1S_2$)。

2. 见图 23-2。

3. S_1 为二元一致熔化合物； S_2 为二元不一致熔化合物。

4. H ：单转熔点 $L_H + B \rightarrow S_2 + S_1$

E ：低共熔点 $L_E \rightarrow A + C + S_1$

F ：低共熔点 $L_F \rightarrow A + S_1 + S_2$

5. M 点析晶路程见图 23-2 (有穿 S_2 的相区)。

液相： $M \xrightarrow[f=2]{L \rightarrow B} a \xrightarrow[f=1]{L+B \rightarrow S_2} b \xrightarrow[f=2]{L \rightarrow S_2} c \xrightarrow[f=1]{L \rightarrow A+S_2} F (L \xrightarrow[f=0]{} A+S_1+S_2)$

固相： $B \rightarrow S_2 \rightarrow d \rightarrow M$

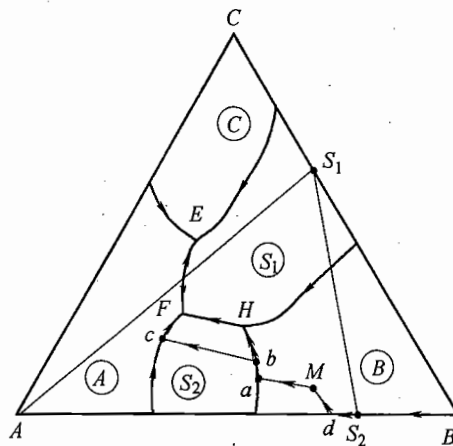


图 23-2 第七题解答图

试卷二十四

2005 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料物理化学

适用专业：材料学、材料物理与化学、材料加工工程

一、是非题（15 分）（正确的打“√”，错误的打“×”）

1. 在正交晶系中，(001) 面必定与 (110) 面垂直。
2. 金刚石、石墨和纳米碳管是碳的同素异性体。
3. 在立方晶系中可能存在的空间格子类型有 F、I、C 三种。
4. 立方晶系的对称特点是具有 4 根 3 次轴。
5. 在宏观晶体中所存在的对称要素都必定通过晶体的中心。
6. 固溶体是一种溶解了杂质组分的非晶态固体。
7. 只要在 0K 以上晶体中总是存在着点缺陷。
8. CVD 法制备的非晶态硅也具有玻璃的四个通性。
9. 菲克第一定律适用于求解不稳定扩散问题。
10. 有序-无序转变是指晶体与非晶体之间的转变。
11. 晶胚的临界半径 r_k 随着 ΔT 的增大而减小，相变愈易进行。
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. 在晶体的生长过程中，必须要有过冷度存在。
14. 对于相同的体系，非均匀成核位垒 \leq 均匀成核位垒。
15. 液相烧结是指有液相存在的一种烧结过程。

二、选择题（15 分）

1. 晶体结构中一切对称要素的集合称为_____。
(a) 对称型 (b) 点群 (c) 微观对称的要素的集合 (d) 空间群
2. 螺位错的位错线与滑移方向之间_____。
(a) 相互平行 (b) 相互垂直 (c) 没有一定的关系
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. 在正尖晶石型结构中，二价阳离子占据_____。
(a) 四面体空隙 (b) 八面体空隙

- (c) 立方体空隙 (d) 三方柱空隙
5. 长石属于_____类型的硅酸盐结构。
- (a) 岛状硅酸盐结构 (b) 层状硅酸盐结构
- (c) 链状硅酸盐结构 (d) 架状硅酸盐结构
6. 在非化学计量化合物 UO_{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
7. 在面心立方晶体结构中, 密排面是_____。
- (a) $\{001\}$ 面 (b) $\{011\}$ 面 (c) $\{111\}$ 面
8. 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
9. 在 $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系相图中有低共熔点 8 个、双升点 7 个、鞍形点 9 个, 按相平衡规律该系统可划分成_____分三角形。(鞍形点为界线与连线的交点)
- (a) 8 个 (b) 7 个 (c) 9 个 (d) 15 个 (e) 22 个
10. 当由 n 个球构成立方紧密堆积时, 在密堆结构中四面体空隙数为_____。
- (a) n 个 (b) $2n$ 个 (c) $4n$ 个 (d) $8n$ 个

三、填充题: (28 分)

1. 晶胞是 (1)。
2. 空间群为 $\text{Fm}\bar{3}\text{m}$ 的晶体结构属于 (2) 晶族, (3) 晶系。
3. 硅酸盐晶体分类的依据是 (4)。按此分类法可将硅酸盐矿物分为: (5) 结构、(6) 结构、(7) 结构和 (8) 结构。
4. 在金红石晶体结构中, 所有的 O^{2-} 按 (9) 方式进行排列, 其中 Ti^{4+} 填充了 (10)。
5. 粘土荷电的主要原因有: (11)、(12) 和 (13)。
6. 粘土泥浆发生触变性的主要原因是: (14)。
7. 玻璃具有下列通性: (15)、(16)、(17) 和 (18)。
8. 本征扩散是由 (19) 而引起的质点迁移, 本征扩散的活化能由 (20) 和 (21) 两部分组成, 扩散系数与温度的关系式为: (22)。
9. 在 (1) $\text{MgO}-\text{SiO}_2$; (2) $\text{CaO}-\text{SiO}_2$; (3) $\text{SrO}-\text{SiO}_2$; (4) $\text{BaO}-\text{SiO}_2$ 这四个系统中, 最容易分相、分相区范围较大的是 (23)。
10. 熔体中析晶的过程分二步完成, 首先是 (24), 然后就是 (25) 过程。均匀成核的成核速率是由 (26) 因子和 (27) 因子所决定的。
11. 在水的相图中, 与其他一元相图相比的特点是: (28)。
12. 马氏体相变具有以下的一些特征: (29)、(30)、(31) 和 (32) 等。
- 四、名词解释 (20 分) (任选五题, 如果全做只取前五题)

1. 网络形成体
2. 一级相变
3. 肖特基 (Schottky) 缺陷
4. 二次再结晶
5. 反尖晶石结构
6. 同质多晶
7. 点间点阵
8. 烧结

五、计算题 (24 分) (任选三题, 如果全做只取前三题)

1. 试计算含 15.5wt% Na_2O 、14wt% CaO 、22.5wt% Al_2O_3 和 45wt% SiO_2 玻璃的四个结构参数 Z 、 R 、 X 和 Y 。(其中原子量分别为 Na:23, O:16, Ca:40, Al:27, Si:28)。

2. CeO_2 为萤石型的结构, 当在 CeO_2 中加入 15mol% 的 CaO 形成固溶体时, 测得固溶体的密度为 $6.54\text{g}/\text{cm}^3$, 这时的晶格参数为 $a = 0.5417\text{nm}$, 通过计算说明这种固溶体的类型。(其中相对原子质量分别为 O:16, Ca:40, Ce:140)。

3. 在 MgO 晶体中, 肖特基缺陷的生成能为 $9.612 \times 10^{-19}\text{J}$ 。如果在 MgO 晶体中含有百万分之一的 Al_2O_3 杂质, 则在 1600°C 时, MgO 晶体中是热缺陷占优势还是杂质缺陷占优势? ($k = 1.38 \times 10^{-23}$)。

4. 正硅酸铅 PbSiO_4 玻璃的密度为 $7.36\text{g}/\text{cm}^3$, 求这种铅玻璃中氧的密度为多少? 如果将它与熔融石英玻璃 (密度为 $2.2\text{g}/\text{cm}^3$) 中的氧密度相比较, 试指出在这种铅玻璃中铅离子所在的位置。(其中相对原子质量分别为 O:16, Si:28, Pb:207)。

六、论述题 (30 分) (任选三题, 如果全做只取前三题)

1. 简述晶粒生长与二次再结晶的特点, 以及造成二次再结晶的原因和防止二次再结晶的方法。

2. 非化学计量化合物结构缺陷的浓度与周围气氛的性质、压力大小有关。试分析如果增大周围氧气氛的分压, 非化学计量化合物 Fe_{1-x}O 、 Zn_{1+x}O 的密度将发生怎么样的变化?

3. 简述固相烧结和液相烧结的主要类型与特点, 以及固相烧结与液相烧结之间有何相同与不同之处?

4. 简述无扩散型相变的特点是什么?

七、相图分析 (18 分) ($A-B-C$ 三元相图如图 24-1 所示, 本题作图部分直接画在图中)

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_1 和 S_2 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数)。

12.

[Si
方
破
过

位

(2

冰
关

发

其

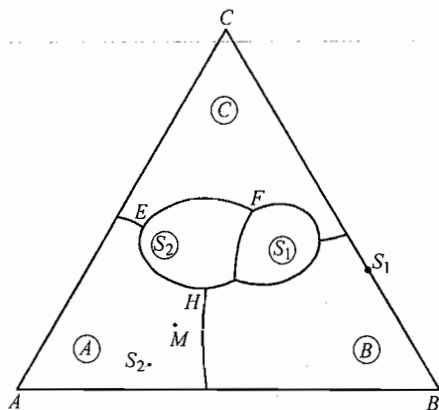


图 24-1 第七题图

标准答案

一、1. \checkmark ; 2. \checkmark ; 3. \times ; 4. \checkmark ; 5. \checkmark ; 6. \times ; 7. \checkmark ; 8. \times ; 9. \times ; 10. \times ; 11. \checkmark ; 12. \times ; 13. \times ; 14. \checkmark ; 15. \times 。

二、1. d; 2. a; 3. c; 4. a; 5. d; 6. c; 7. c; 8. b; 9. d; 10. b。

三、(1) 能充分反映晶体结构特征的最小单位; (2) 高级; (3) 立方; (4) $[\text{SiO}_4]$ 连接方式; (5) 岛状; (6) 成群状; (7) 链状; (8) 层状或架状; (9) 立方密堆; (10) $1/2$ 的八面体空隙; (11) 同晶置换; (12) 腐殖质离解; (13) 边面破键; (14) 粘土泥浆的不完全胶溶; (15) 各向同性; (16) 介稳性; (17) 转换过程是可逆与渐变的; (18) 转化时性质变化连续; (19) 本征热缺陷所产生的空

位; (20) 空位形成能; (21) 质点迁移能; (22) $D = D_0 \exp \left[- \frac{\frac{\Delta H_f}{2} + \Delta H_m}{RT} \right]$;

(23) MgO-SiO_2 ; (24) 成核; (25) 晶体生长; (26) P 因子; (27) D 因子; (28) 冰的熔化曲线的斜率 $\frac{\partial P}{\partial T} < 0$, 熔化时体积收缩; (29) 存在习性平面; (30) 取向关系; (31) 无扩散性; (32) 速度快。

四、

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

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. 肖特基 (Schottky) 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, 跃迁到晶体的表面, 并在原正常格点上留下空位。

4. 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。

5. 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。

6. 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。

7. 空间点阵：从晶体结构中找出的一系列等同点，必定在三维空间成周期性重复排列，由一系列在三维空间按周期性重复排列的几何点称为一个空间点阵。

8. 烧结：一种或多种固体粉末经过成型，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. $wt\% \Rightarrow mol\%$; $\frac{1}{6}Na_2O \cdot \frac{1}{6}CaO \cdot \frac{1}{6}Al_2O_3 \cdot \frac{1}{6}SiO_2$; $Z=4$; $R=2.2$; $Y=3.6$; $X=0.4$ 。

2. $CaO \xrightarrow{CeO_2} Ca_{Ce}'' + O_o + V_o^{..}$; $Ce_{0.85}Ca_{0.15}O_{1.85}$;

$2CaO \xrightarrow{CeO_2} Ca_{Ce}'' + Ca_i^{..} + 2O_o$; $Ce_{0.925}Ca_{0.15}O_2$;

$\rho_{空} = 5.854 g/cm^3$; $\rho_{间} = 6.350 g/cm^3$; $\rho_{空}$ 与实测 ρ 相近；为阳离子添隙型。

3. $\frac{n}{N} = \exp\left(-\frac{E}{2kT}\right)$; 298K: $n/N = 1.92 \times 10^{-51}$; 1873K: $n/N = 8 \times 10^{-9}$;

$[V_{Mg}^{..}]_{热} = 8 \times 10^{-9}$

$Al_2O_3 \xrightarrow{MgO} 2Al_{Mg}^{\cdot} + V_{Mg}^{..} + 3O_o$ $[V_{Mg}^{..}] = 10^{-6}$

在 1600℃ 时杂质缺陷占优势。

4. $PbSiO_4$ 相对分子质量 = 283; SiO_2 相对分子质量 = 60;

$PbSiO_4$ 中氧密度 $\rho_1 = \rho_{PbSiO_4} \frac{16 \times 3}{283} = 1.25 g/cm^3$;

SiO_2 中氧密度 $\rho_2 = \rho_{SiO_2} \frac{16 \times 2}{60} = 1.17 g/cm^3$;

$\rho_1 > \rho_2$; $PbSiO_4$ 中的 Pb^{2+} 作为网络变性离子分布在网络间隙中。

六、

1. 晶粒生长的特点：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

个别
料粒

性，

子空
围窄
小，差，
位的质才
相在

都是

烧结
力能
烧结化，
相：

粒生长时气孔都维持在晶界上或晶界交汇处。

二次再结晶的特点：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。

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。

2. 如果增大周围氧气氛的分压，非化学计量化合物 Fe_{1-x}O 中 x 增加，阳离子空位浓度就增加，这时非化学计量化合物 Fe_{1-x}O 的密度将变小；如果增大周围氧气氛的分压，非化学计量化合物 Zn_{1+x}O 中 x 减小，阳离子间隙浓度就减小，这样非化学计量化合物 Zn_{1+x}O 的密度将变小。

3. 固相烧结的主要类型与特点：蒸发-凝聚传质，原因是不同部位的蒸气压差，蒸发-凝聚传质的烧结过程坯体不发生收缩。扩散传质，原因是颗粒不同部位的空位浓度差，扩散传质是大多数固体材料烧结传质的主要方式。

液相烧结的主要类型与特点：流动传质，是大多数硅酸盐材料烧结的主要传质方式，可分为粘性流动和塑性流动。溶解-沉淀传质，存在有固、液二相，固相在液相中有可溶性。

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。

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。

4. 无扩散型相变的特点：存在均匀切变而引起的形状变化（晶体外形的变化）；新相与母相的化学成分相同；可以在低温下进行，相变速度快；新相与母相之间有一定的位向关系。

七、

1. 划分成 4 个分三角形 ($\triangle \text{ACS}_2$ 、 $\triangle \text{CS}_1\text{S}_2$ 、 $\triangle \text{BS}_1\text{S}_2$ 、 $\triangle \text{ABS}_2$)。

2. 见图 24-2。

3. S_1 ：固相分解二元化合物； S_2 ：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. M 点析晶路程见图 24-2。

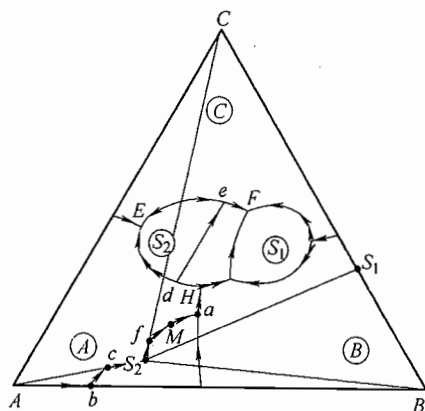
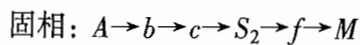
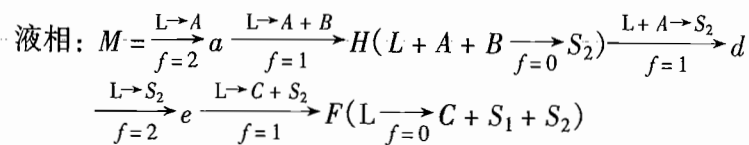


图 24-2 第七题解答图

考试
适用

属于

错,

快

Mg₂

(已
子)

=

C₁
质
合

西北工业大学

试卷二十五

2002 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料类、机械类

一、简答题（共 30 分，每小题 6 分）

1. 简单立方晶体中，若位错线方向为 $[001]$ ， $b = a [110]$ ，试说明该位错属于什么类型的位错？
2. 若面心立方晶体中有 $b = \frac{a}{2} [\bar{1}01]$ 的单位位错及 $b = \frac{a}{6} [12\bar{1}]$ 的不全位错，此二位错相遇能否进行位错反应？为什么？
3. 有一 40 钢试样，平衡加热到 730°C 将获得什么组织？若把该试样从 730°C 快冷（如水冷），室温下将得到什么组织？
4. 说明下列合金相各属于何种固溶体化合物：碳钢中的奥氏体， Fe_3C ， Mg_2Si ， Cu_3Sn 。
5. 简述纯金属晶体长大的机制。

二、计算作图题（共 40 分，每小题 8 分）

1. FeO 具有 NaCl 型结构。假设 Fe 与 O 的原子数目相同，试计算其密度。（已知 Fe 与 O 的相对原子量为 55.8 和 16.0，铁的离子半径 $r = 0.074\text{nm}$ ，氧的离子半径 $R = 0.140\text{nm}$ ）
2. 拉伸单晶铜，拉力轴方向为 $[001]$ ， $\sigma = 10^6\text{Pa}$ 。求在 (111) 面上一个 $b = \frac{a}{2} [10\bar{1}]$ 的螺位错线所受的力（已知铜的点阵常数 $a = 0.36\text{nm}$ ）。
3. Mg-Ni 系的一个共晶反应为： $L_{(w_{\text{Ni}}=0.235)} = \alpha_{(\text{纯Mg})} + \text{Mg}_2\text{Ni}_{(w_{\text{Ni}}=0.546)}$ ，设 $w_{\text{Ni}}^1 = C_1$ 为一种亚共晶合金， $w_{\text{Ni}}^2 = C_2$ 为一种过共晶合金，这两种合金的先共晶相的质量分数相等，但 C_1 合金中 α 的总量是 C_2 合金中 α 总量的 2.5 倍，试确定 C_1 合金和 C_2 合金的成分。

4. 在面心立方晶胞中, 分别画出 (101) 、 $[10\bar{1}]$ 和 $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ 、 $[1\bar{1}0]$, 并指出哪些是滑移面、滑移方向; 就图中情况能否构成滑移系?

5. 利用 Fe-O 相图 (见图 25-1), 分析纯铁在 1000°C 氧化时, 氧化层内的组织与氧浓度分布规律, 画出示意图。

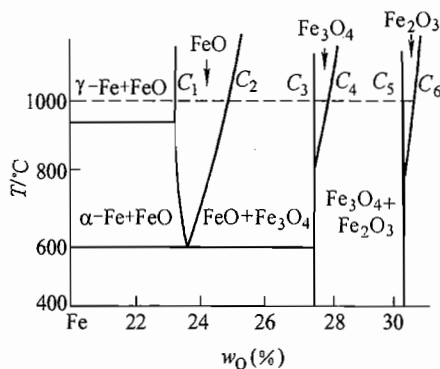


图 25-1 第二题第 5 小题图

三、综合分析题 (共 30 分, 每小题 15 分)

1. 就 Al-Cu 合金相图 (见图 25-2), 试分析:

(1) 什么成分的合金适合压力加工?

(2) 对此合金可采用什么方法强化? 为什么?

(3) 对于 $w_{\text{Cu}} = 0.04$ 的合金, 经 80% 冷变形后, 分别在 550°C 、 300°C 退火 1 小时, 试分析其组织有什么不同。

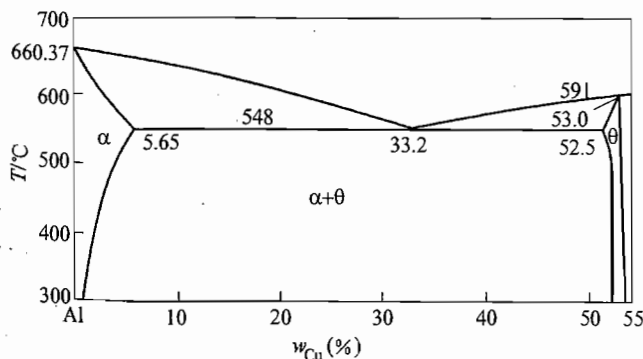


图 25-2 第三题第 1 小题图

2. 对于 Fe-C 合金 (相图见图 25-3):

(1) 有两批直径相同的 20 钢和 T12 钢棒发生混料, 请提出两种不同的方法将它们区分开来。

(2) 若在退火状态下, 试比较两种材料的强度、硬度和塑性的大小。

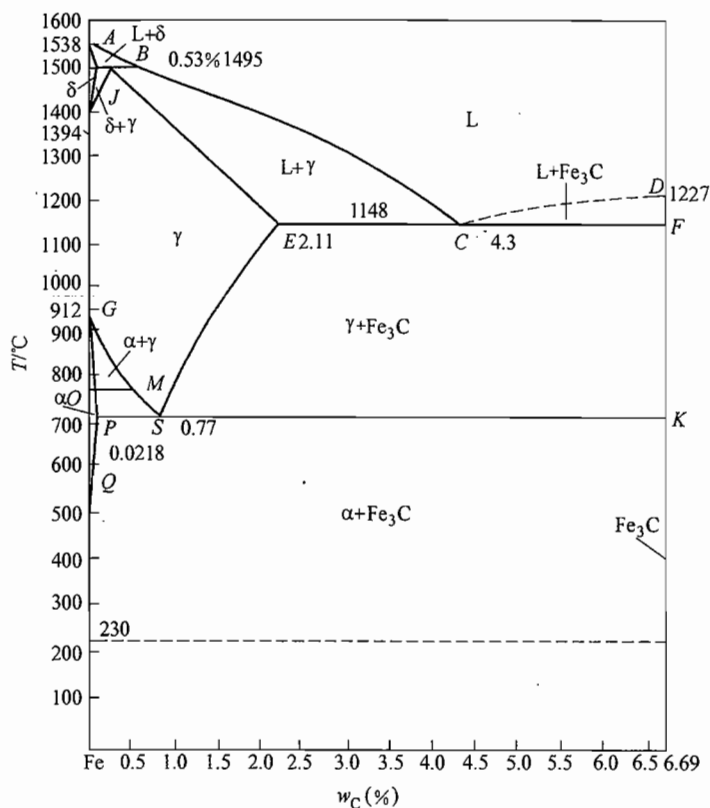


图 25-3 第三题第 2 小题图

标准答案

一、

1. 因位错线方向与柏氏矢量方向垂直, 因此该位错为刃位错。
2. 能够发生反应。

$$\text{几何条件: } \sum \vec{b}_{\text{前}} = \sum \vec{b}_{\text{后}} = \frac{a}{3} [\bar{1}11]$$

$$\text{能量条件: } \sum b_{\text{前}}^2 = \frac{2}{3} a^2 > \sum b_{\text{后}}^2 = \frac{1}{3} a^2$$

3. 40 钢加热到 730°C 将得到奥氏体 + 铁素体, 从 730°C 快冷到室温将得到马氏体 + 铁素体组织。

4. 奥氏体——间隙固溶体。

Fe₃C——间隙化合物。

Mg_2Si ——正常价化合物。

Cu_3Sn ——电子化合物。

5. 晶体长大机制是指晶体微观长大方式, 它与液-固界面结构有关。

具有粗糙界面的物质, 因界面上约有 50% 的原子位置空着, 这些空位都可接受原子, 故液体原子可以单个进入空位, 与晶体相连接, 界面沿其法线方向垂直推移, 呈连续式长大。

具有光滑界面的晶体长大, 不是单个原子的附着, 而是以均匀形核的方式, 在晶体学小平面上形成一个原子层厚的二维晶核与原界面间形成台阶, 单个原子可以在台阶上填充, 使二维晶核侧向长大, 在该层填满后, 则在新的界面上形成新的二维晶核, 继续填满, 如此反复进行。

若晶体的光滑界面存在有螺型位错的露头, 则该界面成为螺旋面, 并形成永不消失的台阶, 原子附着到台阶上使晶体长大。

二、

1. 由于 FeO 具有 NaCl 型结构, 所以单位晶胞中有 4 个 Fe^{2+} 和 4 个 O^{2-} , 则有

$$V = a^3 = [2 \times (0.074 + 0.140) \times 10^{-9}]^3 \text{m}^3 = 78.4 \times 10^{-30} \text{m}^3$$

$$m = 4 \times (55.8 + 16.0) / (0.6 \times 10^{24}) \text{g} = 479 \times 10^{-24} \text{g}$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{479 \times 10^{-24}}{78.4 \times 10^{-30}} \text{g/m}^3 = 6.1 \times 10^6 \text{g/m}^3$$

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

$$\tau = \sigma \cos \varphi \cos \lambda$$

式中, φ 为 $[001]$ 与 (111) 晶面的法线 $[111]$ 间的夹角, λ 为 $[001]$ 与 $[\bar{1}01]$ 晶向间的夹角, 故

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

若螺位错线上的受力为 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. 根据题意, 可知:

$$\begin{cases} \frac{23.5 - C_1}{23.5} = \frac{C_2 - 23.5}{54.6 - 23.5} \\ \frac{54.6 - C_1}{54.6} = 2.5 \times \frac{54.6 - C_2}{54.6} \end{cases}$$

解之得

$$C_1 = 12.7\%, C_2 = 37.8\%$$

4. 见图 25-4。

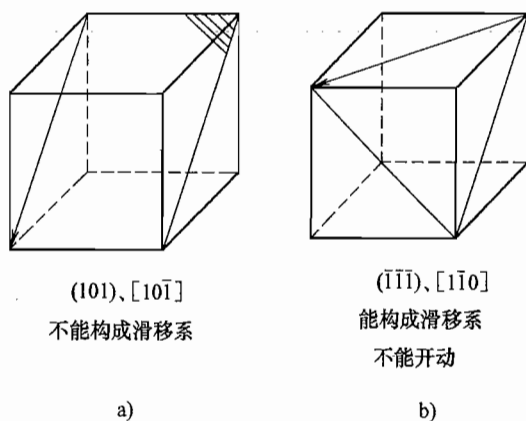


图 25-4 第二题第 4 小题解答图

5. 见图 25-5。

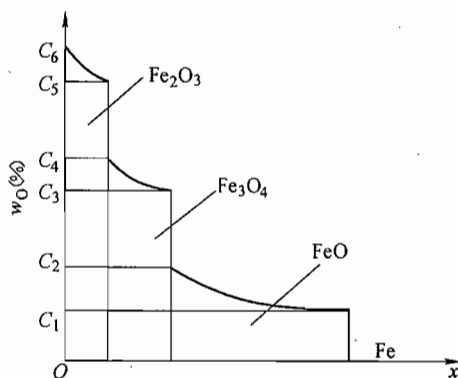


图 25-5 第二题第 5 小题解答图

三、

1.

(1) 进行压力加工要求合金具有良好的塑性，组织中不应有过多的强化相，因此合金中的合金元素应比较少，一般不超过其最大固溶度。

(2) 对 Al-Cu 合金而言，常用含 Cu 约 4% 的合金。该合金固溶处理后处于单相状态，塑性变形能力优良。

(3) 提高 Al-4%Cu 合金的强度有两种方法。其一，固溶 + 时效处理：将合金加热至单相区，快速冷却，获得过饱和的 α 固溶体，而后重新加热到一定温度保温，析出细小弥散的 θ 相，从而获得时效强化。其二，加工硬化：通过冷变形获得加工硬化。

2.

(1) 分辨 20 钢和 T12 钢常用方法有：金相法，先进行退火处理，而后观察其金相组织，20 钢的组织为珠光体 + 铁素体，T12 钢的组织为珠光体 + 网状渗碳体；敲击法，分别敲击两合金，20 钢的声音清脆明亮，T12 钢的则沉闷。

(2) 退火状态下，20 钢的强度、硬度较 T12 钢低，塑性较高。

考试
适用

的类

在权

原因

晶向

P、

试卷二十六

2003 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料类、机械类

一、简答题：（共 40 分，每小题 8 分）

1. 简单立方晶体中，若位错线方向为 $[11\bar{2}]$ ， $b = a [\bar{1}10]$ ，试判断此位错的类型？若为刃型位错，试求出半原子面的晶面指数及插入方向的晶向指数。

2. 根据溶质原子在点阵中的位置，举例说明固溶体相可分为几类？固溶体在材料中有何意义？

3. 固溶体合金非平衡凝固时，有时会形成微观偏析，有时会形成宏观偏析，原因何在？

4. 应变硬化在生产中有何意义？作为一种强化方法，它有什么局限性？

5. 一种合金能够产生析出硬化的必要条件是什么？

二、计算、作图题（共 60 分，每小题 12 分）

1. 绘出面心立方点阵中 (110) 晶面的原子平面图。在该图中标出 $[1\bar{1}1]$ 晶向和 $(1\bar{1}0)$ 晶面（指晶面在 (110) 晶面上的垂直投影线）。

2. 在图 26-1 所示浓度三角形中，确定 P 、 R 、 S 三点的成分。若有 2kg 的 P 、4kg 的 R 、7kg 的 S 混合，求混合后该合金的成分？

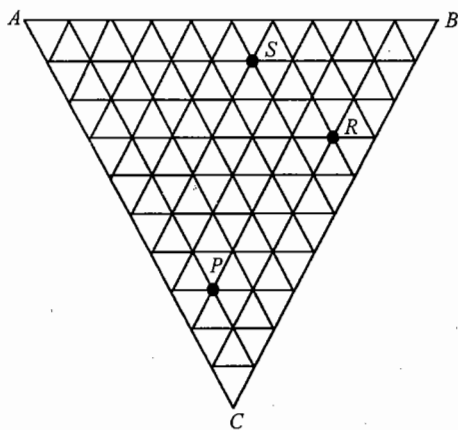


图 26-1 第二题第 2 小题图

3. 已知碳在 γ -Fe 中扩散时, $D_0 = 2.0 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, $Q = 1.4 \times 10^5 \text{ J/mol}$ 。当温度在 927°C 时, 求其扩散系数为多少? (已知摩尔气体常数 $R = 8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$)

4. 纯铅在 553°C 和 627°C 等温退火至完成再结晶分别需要 40h 和 1h。试求此材料的再结晶激活能。(已知摩尔气体常数 $R = 8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$)

5. 画出 40 钢经退火后室温下的显微组织示意图, 并注明组织、放大倍数、腐蚀剂等。

三、综合分析题: (共 50 分, 每小题 25 分)

1. 图 26-2 所示为铜-铝合金相图的近铝部分。

(1) 写出 $w_{\text{Al}} = 0.08$ 的 Al-Cu 合金, 平衡凝固后的室温组织, 并述其形成过程?

(2) 若该合金在铸造条件下, 将会是什么组织?

(3) 若该合金中 Al 含量改变时 (当 $w_{\text{Al}} < 0.05$ 或 $w_{\text{Al}} > 0.08$ 时), 其力学性能将如何变化?

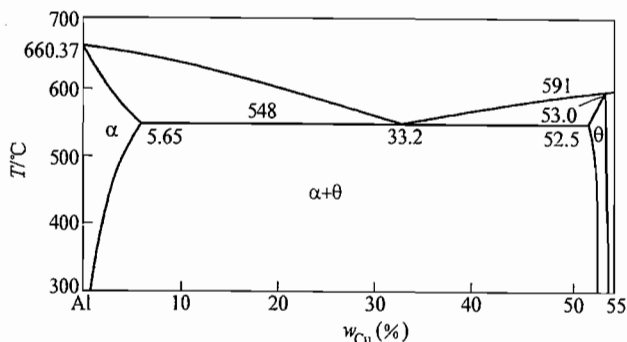


图 26-2 第三题第 1 小题图

2. 已知位错环 ABCD 的柏氏矢量为 b , 外应力为 τ 和 σ , 如图 26-3 所示。

(1) 位错环的各边分别是什么类型的位错?

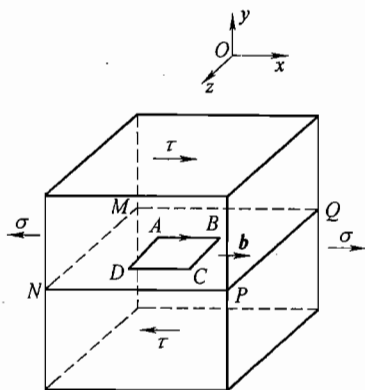


图 26-3 第三题第 2 小题图

- (2) 在足够大切应力 τ 作用下, 位错环将如何运动?
 (3) 在足够大的拉应力 σ 作用下, 位错环将如何运动?

标准答案

一、

1. 因位错线方向和柏氏矢量方向垂直, 故该位错是刃位错。半原子面的晶面指数是 $(\bar{1}10)$ 。

2. 按溶质原子在点阵中的位置, 固溶体可以分为置换固溶体, 比如 Al-Cu 合金中的 α 相; 间隙固溶体, 比如 Fe-C 合金中的 α 相。

3. 微观偏析在一个晶粒范围以内, 是由于结晶时扩散速度较慢引起的。宏观偏析在整个零件或试样范围内, 是由于结晶时溶质原子再分配引起的。

4. 应变硬化又称为加工硬化, 可以提高合金的强度和硬度, 比如, 冷拉钢丝就是利用应变硬化效应对钢丝进行强化的。尤其是对于有些不能用热处理进行强化的合金, 应变硬化是非常重要的强化手段。但应变硬化并没有从根本上改变合金的性质, 如果遇到某些情况, 如温度升高, 应变硬化可能会因再结晶的发生而丧失。

5. 能够产生析出硬化的必要条件是可获得过饱和固溶体, 以便于第二相的析出。

二、

1. 见图 26-4。

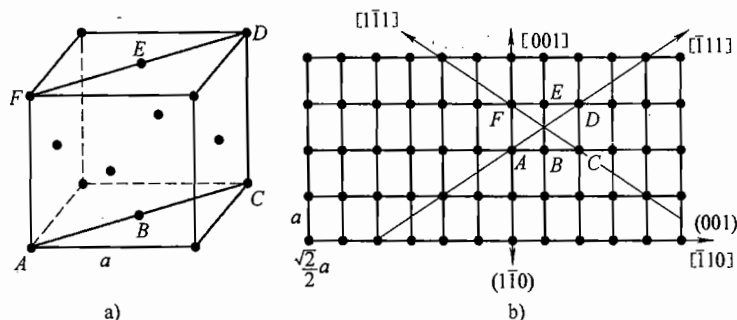
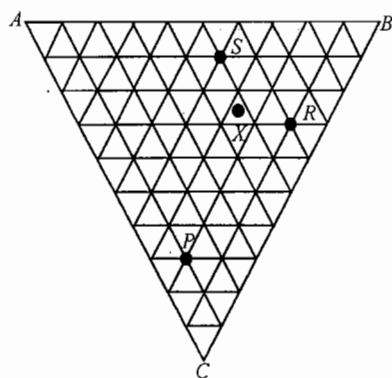


图 26-4 第二题第 1 小题解答图

2. 见图 26-5。



P: 20%A - 10%B - 70% C

R: 10%A - 60%B - 30% C

S: 40%A - 50%B - 10% C

X: 27.7%A - 46.9%B - 25.4% C

图 26-5 第二题第 2 小题解答图

$$3. D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) = 2.0 \times 10^{-5} \exp\left(-\frac{1.4 \times 10^5}{8.314 \times 1200}\right) \text{ m}^2/\text{s} = 1.6 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$$

4.

由

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

$$\text{可得 } \ln \frac{t_1}{t_2} = \frac{Q}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$$

$$Q = R \ln \frac{t_1}{t_2} / \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right) = 8.314 \times \ln 40 / \left(\frac{1}{553 + 273} - \frac{1}{627 + 273}\right) \text{ J/mol}$$

$$= 3.08 \times 10^5 \text{ J/mol}$$

5. 略。

三、

1.

(1) $w_{\text{Al}} = 0.08$ 的 Al-Cu 合金平衡凝固时, 首先析出 α 固溶体, 随温度降低 α 相逐渐增多。温度降至 548°C 时发生共晶反应, 得到 $\alpha + \theta$ 共晶体。液相全部消耗完时温度再次下降, α 相中析出弥散的 θ 相。室温下, 其组织组成为: $\alpha + (\alpha + \theta)_{\text{共}} + \theta_{\text{II}}$ 。

(2) 在铸造条件下, α 相减少, 共晶体增多, 且晶粒较平衡凝固为小。

(3) 若 Cu 含量减少, 合金的强度下降, 塑性升高; 若 Cu 含量增加, 则强度升高, 塑性下降。

2.

(1) 由位错线的方向与 \vec{b} 之间的关系可知: AB 为右螺位错, CD 为左螺位错, BC 为正刃位错; DA 为负刃位错。

(2) 在足够大切应力 τ 作用下, 晶体上部沿 \vec{b} 的方向运动, 这样造成位错环

各边

运动
示。

各边向外侧运动，即位错环扩大。

(3) 在足够大的拉应力 σ 作用下， BC 段位错将向下运动， DA 段位错向上运动；由于螺位错不能攀移，因此 AB 、 CD 两段位错不发生运动。如图 26-6 所示。

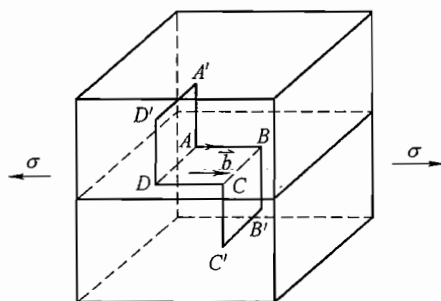


图 26-6 第三题第 2 小题解答图

试卷二十七

2004 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料类、机械类

一、简答题（共 40 分，每小题 8 分）

1. 请简述间隙固溶体、间隙相、间隙化合物的异同点？
2. 请简述影响扩散的主要因素有哪些。
3. 临界晶核的物理意义是什么？形成临界晶核的充分条件是什么？
4. 有哪些因素影响形成非晶态金属？为什么？
5. 合金强化途径有哪些？各有什么特点？

二、计算、作图题（共 60 分，每小题 12 分）

1. 求 $[11\bar{1}]$ 和 $[20\bar{1}]$ 两晶向所决定的晶面，并绘图表示出来。
2. 氧化镁 (MgO) 具有 NaCl 型结构，即具有 O^{2-} 离子的面心立方结构。

问：

(1) 若其离子半径 $r_{\text{Mg}^{2+}} = 0.066\text{nm}$, $r_{\text{O}^{2-}} = 0.140\text{nm}$, 则其原子堆积密度为多少？

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

3. 已知液态纯镍在 $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ (1 大气压), 过冷度为 319K 时发生均匀形核, 设临界晶核半径为 1nm , 纯镍熔点为 1726K , 熔化热 $\Delta H_m = 18075\text{J/mol}$, 摩尔体积 $V_s = 6.6\text{cm}^3/\text{mol}$, 试计算纯镍的液-固界面能和临界形核功。

4. 图 27-1 所示为 Pb-Sn-Bi 相图投影图。问：

(1) 写出合金 Q ($w_{\text{Bi}} = 0.7$, $w_{\text{Sn}} = 0.2$) 凝固过程及室温组织。

(2) 计算合金室温下组织组成物的相对含量。

5. 有一钢丝 (直径为 1mm) 包覆一层铜 (总直径为 2mm)。若已知钢的屈服强度 $\sigma_{\text{st}} = 280\text{MPa}$, 弹性模量 $E_{\text{st}} = 205\text{GPa}$, 铜的 $\sigma_{\text{Cu}} = 140\text{MPa}$, 弹性模量 $E_{\text{Cu}} = 110\text{GPa}$ 。问：

(1) 如果该复合材料受到拉力, 何种材料先屈服？

(2) 在不发生塑性变形的情况下, 该材料能承受的最大拉伸载荷是多少？

(3) 该复合材料的弹性模量为多少？

线受

0.9%

Ag^+

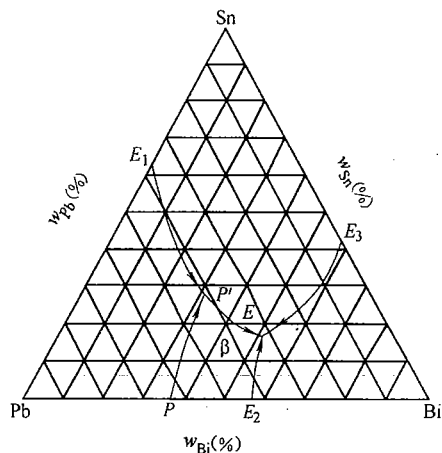


图 27-1 第二题第 4 小题图

三、综合分析题 (共 50 分, 每小题 25 分)

1. 某面心立方晶体的可动滑移系为 $(11\bar{1})$ $[\bar{1}10]$ 。

(1) 请指出引起滑移的单位位错的柏氏矢量。

(2) 若滑移由刃位错引起, 试指出位错线的方向。

(3) 请指出在 (2) 的情况下, 位错线的运动方向。

(4) 假设在该滑移系上作用一大小为 0.7MPa 的切应力, 试计算单位刃位错线受力的大小和方向 (取点阵常数为 $a = 0.2\text{nm}$)。

2. Cu-Ag 合金相图如图 27-2 所示。若有一 Cu-Ag 合金 ($w_{\text{Cu}} = 0.075$, $w_{\text{Ag}} = 0.925$) 1kg, 请提出一种方案从该合金中提炼出 100g 的 Ag, 且要求提炼得到的 Ag 中的 Cu 含量 w_{Cu} 低于 0.02。(假设液相线和固相线均为直线)。

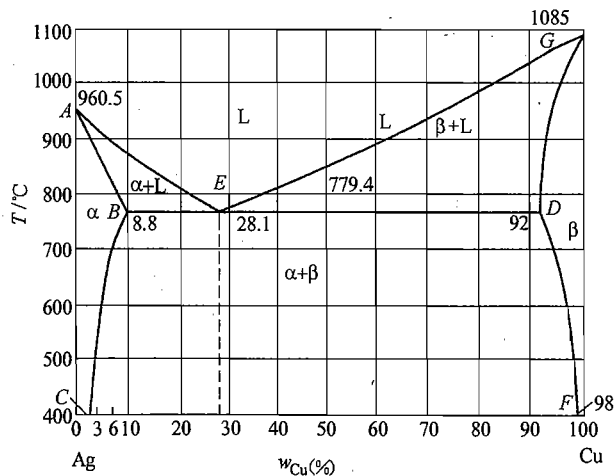


图 27-2 第三题第 2 小题图

标准答案

一、

1、相同点：小原子溶入。不同点：间隙固溶体保持溶剂（大原子）点阵；间隙相、间隙化合物改变了大原子点阵，形成新点阵。间隙相结构简单；间隙化合物结构复杂。

2. 影响扩散的主要因素：(1) 温度；(2) 晶体结构与类型；(3) 晶体缺陷；(4) 化学成分。

3. 临界晶核的物理意义：可以自发长大的最小晶胚（或，半径等于 r_k 的晶核）。

形成临界晶核的充分条件：(1) 形成 $r \geq r_k$ 的晶胚；(2) 获得 $A \geq A^*$ （临界形核功）的形核功。

4. 液态金属的粘度：粘度越大原子扩散越困难，易于保留液态金属结构。

冷却速度：冷却速度越快，原子重新排列时间越短，越容易保留液态金属结构。

5. 细晶强化、固溶强化、复相强化、弥散强化（时效强化）和加工硬化。

二、

1. 设所求的晶面指数为 (hkl) ，则

$$h:k:l = \left| \begin{array}{cc} 1 & -1 \\ 0 & -2 \end{array} \right| : \left| \begin{array}{cc} -1 & 1 \\ -1 & 2 \end{array} \right| : \left| \begin{array}{cc} 1 & 1 \\ 2 & 0 \end{array} \right| = (112)$$

2.

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

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

(2) 堆积密度会改变，因为 P_f 与两异号离子半径的比值有关。

$$3. \text{ 因为 } r = \frac{2\sigma}{\Delta G_B}, \Delta G_B = \frac{L\Delta H}{T_m} = \frac{\Delta H\Delta T}{T_m}$$

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

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

4.

(1) 冷却至液相面析出 Bi: $L \rightarrow Bi_{初}$ ，随温度降低 Bi 增多，液相成分沿

Bi—Q的延长线向 E_3E 移动；

液相成分达到 E_3E 后发生三相共晶反应， $L \rightarrow (Sn + Bi)_{共}$ ，液相成分沿 E_3E 向 E 移动；

液相成分达到 E 后，发生四相共晶反应 $L \rightarrow (Sn + Bi + \beta)_{共}$ 。此后冷却，组织不再变化。

室温组织为： $Bi_{初} + (Sn + Bi)_{共} + (Sn + Bi + \beta)_{共}$

$$(2) w_{Bi_{初}} = 0.288; w_{(Sn + Bi)_{共}} = 0.407; w_{(Sn + Bi + \beta)_{共}} = 0.305$$

5. 两金属的弹性应变相等，即：

$$(\sigma/E)_{st} = \epsilon_{st} = \epsilon_{Cu} = (\sigma/E)_{Cu}$$

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

(1) Cu 先屈服。

$$(2) F_{总} = F_{Cu} + F_{st} = (140 \times 10^6 \times 2.4 \times 10^{-6} + 280 \times 10^6 \times 0.8 \times 10^{-6}) N = 560N$$

$$(3) \bar{E} = (\varphi E)_{st} + (\varphi E)_{Cu} = 130000MPa$$

三、

1.

$$(1) \text{柏氏矢量: } \vec{b} = \frac{a}{2} [\bar{1}10]。$$

$$(2) \text{位错线方向: } [112]。$$

(3) 位错线运动方向平行于柏氏矢量。

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

2.

(1) 将 1kg 合金加热至 900℃ 以上熔化，缓慢冷却至 850℃，倒去剩余液体，所得固体 a_1 约 780g， $w_{Cu} = 0.055$ 。

(2) 将 a_1 熔化，缓慢冷却至 900℃，倒去剩余液体，得 a_2 约 380g， $w_{Cu} = 0.03$ 。

(3) 将 a_2 熔化，缓慢冷却至 920℃，倒去剩余液体，得 a_3 约 260g， $w_{Cu} = 0.02$ 。

(4) 将 a_3 熔化，缓慢冷却至 935℃，倒去剩余液体，得 a_4 约 180g， $w_{Cu} = 0.013$ ，即可。

试卷二十八

2005 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料类、机械类

一、简答题（每题 8 分，共 40 分）

1. 请简述二元合金结晶的基本条件有哪些。
2. 同素异晶转变和再结晶转变都是以形核长大方式进行的，请问两者之间有何差别？
3. 两位错发生交割时产生的扭折和割阶有何区别？
4. 请简述扩散的微观机制有哪些？影响扩散的因素又有哪些？
5. 请简述回复的机制及其驱动力。

二、计算、作图题（共 60 分，每小题 12 分）

1. 在面心立方晶体中，分别画出 (101) 和 $[10\bar{1}]$ ， $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ 和 $[\bar{1}10]$ ， (111) 和 $[0\bar{1}1]$ ，指出哪些是滑移面、滑移方向，并就图中情况分析它们能否构成滑移系？若外力方向为 $[001]$ ，请问哪些滑移系可以开动？

2. 请判定下列位错反应能否进行，若能够进行，请在晶胞图上做出矢量图。

$$(1) \frac{a}{2} [\bar{1}\bar{1}1] + \frac{a}{2} [111] \rightarrow a [001]$$

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

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

- (1) 给出滑移位错的单位位错柏氏矢量。
- (2) 若滑移位错为纯刃位错，请指出其位错线方向；若滑移位错为纯螺位错，其位错线方向又如何？

4. 若将一块铁由室温 20°C 加热至 850°C ，然后非常快地冷却到 20°C ，请计算处理前后空位数变化（设铁中形成 1mol 空位所需的能量为 104600J ）。

5. 已知三元简单共晶的投影图如图 28-1 所示。

- (1) 请画出 AD 代表的垂直截面图及各区的相组成（已知 $T_A < T_D$ ）；
- (2) 请画出 X 合金平衡冷却时的冷区曲线，及各阶段相变反应。

点和

件。

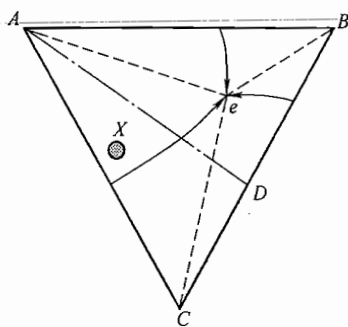


图 28-1 第二题第 5 小题图

三、综合分析题 (共 50 分, 每小题 25 分)

1. 请对比分析加工硬化、细晶强化、弥散强化、复相强化和固溶强化的特点和机理。

2. 请根据图 28-2 所示二元共晶相图分析解答下列问题:

- (1) 分析合金 I、II 的平衡结晶过程, 并绘出冷却曲线。
- (2) 说明室温下 I、II 的相和组织是什么? 并计算出相和组织的相对含量。
- (3) 如果希望得到共晶组织和 5% 的 $\beta_{初}$ 的合金, 求该合金的成分。
- (4) 分析在快速冷却条件下, I、II 两合金获得的组织有何不同。

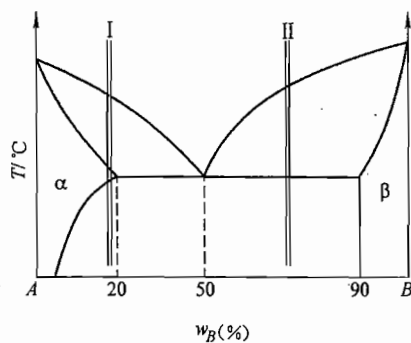


图 28-2 第三题第 2 小题图

标准答案

一、

1. 热力学条件: $\Delta G < 0$; 结构条件: $r > r^*$; 能量条件: $A > \Delta G_{\max}$; 成分条件。

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

3. 位错的交割属于位错与位错之间的交互作用, 其结果是在对方位错线上产生一个大小和方向等于其柏氏矢量的弯折, 此弯折即被称为扭折或割阶。扭折为交割后产生的弯折在原滑移面上, 对位错的运动不产生影响, 容易消失; 割阶为不在原滑移面上的弯折, 对位错的滑移有影响。

4. 置换机制: 包括空位机制和直接换位与环形换位机制, 其中空位机制是主要机制, 直接换位与环形换位机制需要的激活能很高, 一般只有在高温时才能出现。

间隙机制: 包括间隙机制和填隙机制, 其中间隙机制是主要机制。

影响扩散的主要因素有: 温度 (温度越高, 扩散速度越快); 晶体结构与类型 (包括致密度、固溶度、各向异性等); 晶体缺陷; 化学成分 (包括浓度、第三组元等)。

5. 低温机制: 对应空位的消失。

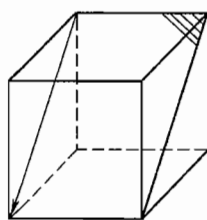
中温机制: 对应位错的滑移 (重排、抵消)。

高温机制: 对应多边化 (位错的滑移 + 攀移)。

驱动力: 冷变形过程中产生的存储能 (主要是点阵畸变能) 的释放。

二、

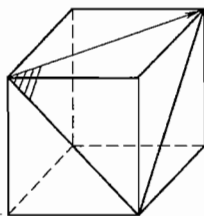
1. 见图 28-3。



(101)、[101]
不能构成滑移系

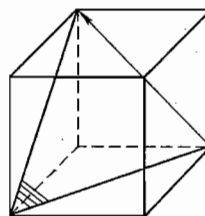
((101)不是FCC晶体的滑移面) ([110]与外力垂直, 分切应力为零)

a)



(111)、[110]
能构成滑移系
不能开动

b)



(111)、[011]
能构成滑移系
能开动

c)

图 28-3 第二题第 1 小题解答图

2.

(1) 几何条件: $\frac{a}{2}[\bar{1} \ 11] + \frac{a}{2}[111] = \frac{a}{2}[002] = a[001]$, 满足几何条件;

能量条件:

$$|\vec{b}_1|^2 + |\vec{b}_2|^2 = \left(\frac{a}{2} \sqrt{(-1)^2 + (-1)^2 + 1^2} \right)^2 + \left(\frac{a}{2} \sqrt{1^2 + 1^2 + 1^2} \right)^2 = \frac{3}{2} a^2$$

$$|\vec{b}_3|^2 = \left(a \sqrt{0^2 + 0^2 + 1^2} \right)^2 = a^2$$

满足能量条件, 反应可以进行。

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

能量条件:

$$|\vec{b}_1|^2 = \left(\frac{a}{2} \sqrt{1^2 + 1^2 + 0^2} \right)^2 = \left(\frac{\sqrt{2}}{2} a \right)^2 = \frac{a^2}{2}$$

$$|\vec{b}_2|^2 + |\vec{b}_3|^2 = \left(\frac{a}{6} \sqrt{1^2 + 2^2 + (-1)^2} \right)^2 + \left(\frac{a}{6} \sqrt{2^2 + 1^2 + 1^2} \right)^2 \\ = \left(\frac{\sqrt{6}}{6} a \right)^2 + \left(\frac{\sqrt{6}}{6} a \right)^2 = \frac{a^2}{3}$$

满足能量条件, 反应可以进行。

3.

$$(1) \text{ 单位位错的柏氏矢量 } \vec{b} = \frac{a}{2} [011].$$

(2) 纯刃位错的位错线方向与 \vec{b} 垂直, 且位于滑移面上, 为 $[2\bar{1}1]$; 纯螺位错的位错线与 \vec{b} 平行, 为 $[011]$ 。

$$4. \frac{c_{850^\circ\text{C}}}{c_{20^\circ\text{C}}} = \frac{A e^{-\frac{\Delta E}{k \cdot (850+273)}}}{A e^{-\frac{\Delta E}{k \cdot (20+273)}}} = e^{-\frac{104675}{1123 \times 8.31293 \times 8.31}} = 6.3 \times 10^{13}$$

5.

(1) 见图 28-4a。

(2) 见图 28-4b。

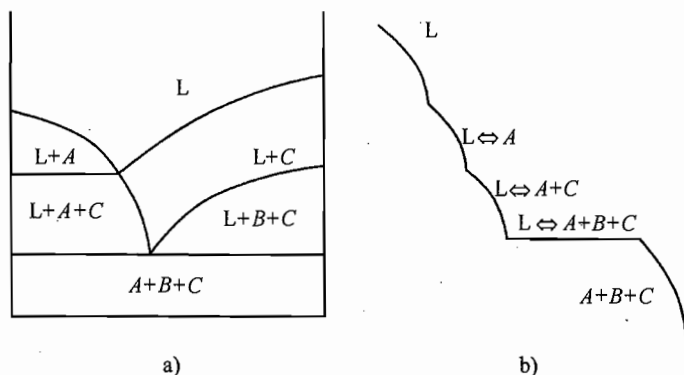


图 28-4 第二题第 5 小题解答图

三、

1.

加工硬化：是因塑性变形使位错增殖而导致的强化。

细晶强化：是由于晶粒数量增多，尺寸减小，增大了位错连续滑移的阻力导致的强化；同时由于滑移分散，也使塑性增大。该强化机制是唯一可同时增大强度和塑性的机制。

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

复相强化：当第二相的相对含量与基体处于相同数量级时，产生的强化。其强化程度取决于第二相的数量、尺寸、分布、形态等，且如果第二相强度低于基体则可能起不到强化作用。

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

2.

(1) 合金 I、II 的平衡结晶过程及冷却曲线分别示意于图 28-5a 和图 28-5b。

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

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

$$w_{\beta} = w_{\beta_{\text{II}}} = \frac{0.20 - 0.50}{0.90 - 0.05} \times 100\% = 17.65\%$$

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

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

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

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

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

(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 β_{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。

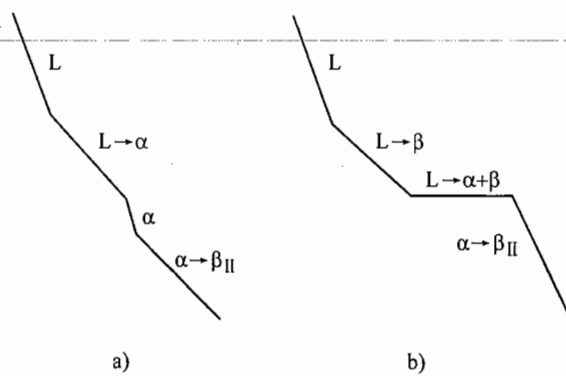


图 28-5 第三题第 2 小题解答图

试卷二十九

2006 年攻读硕士学位研究生入学 考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料类、机械类

一、简答题（每题 10 分，共 50 分）

1. 试从结合键的角度，分析工程材料的分类及其特点。
2. 位错密度有哪几种表征方式？
3. 陶瓷晶体相可分为哪两大类？有何共同特点？
4. 冷轧纯铜板，如果要求保持较高强度，应进行何种热处理？若需要继续冷轧变薄时，又应进行何种热处理？
5. 扩散激活能的物理意义为何？试比较置换扩散和间隙扩散的激活能的大小。

二、作图计算题（每题 15 分，共 60 分）

1. 已知碳在 γ -Fe 中扩散时， $D_0 = 2.0 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ， $Q = 1.4 \times 10^5 \text{ J/mol}$ 。当温度由 927°C 上升到 1027°C 时，扩散系数变化了多少倍？（气体常数 $R = 8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ ）
2. 已知某低碳钢 $\sigma_0 = 64 \text{ kPa}$ ， $K = 393.7 \text{ kPa} \cdot \mu\text{m}^{\frac{1}{2}}$ ，若晶粒直径为 $50 \mu\text{m}$ ，该低碳钢的屈服强度是多少？
3. 试计算 BCC 晶体最密排面的堆积密度。
4. $[01\bar{1}]$ 和 $[11\bar{2}]$ 均位于 FCC 铝的 (111) 晶面上，因此理论上 (111) $[01\bar{1}]$ 和 (111) $[11\bar{2}]$ 的滑移均是可能的。
 - (1) 画出 (111) 晶面及单位滑移矢量 $[01\bar{1}]$ 和 $[11\bar{2}]$ 。
 - (2) 比较具有此二滑移矢量的位错的能量。

三、综合分析题（每题 20 分，共 40 分）

1. 试从晶界的结构特征和能量特征分析晶界的特点。
2. 试分析冷塑性变形对合金组织结构、力学性能、物理化学性能、体系能量的影响。

标准答案

一、

1.

金属材料：主要以金属键为主，大多数金属强度和硬度较高，塑性较好。

陶瓷材料：以共价键和离子键为主，硬、脆，不易变形，熔点高。

高分子材料：分子内部以共价键为主，分子间为分子键和氢键为主。

复合材料：是以上三中基本材料的人工复合物，结合键种类繁多，性能差异很大。

2. 有两种方式：体密度，即单位体积内的位错线长度；面密度，即垂直穿过单位面积的位错线根数。

3. 氧化物陶瓷和硅酸盐陶瓷。特点：(1) 结合键主要是离子键，含有一定比例的共价键；(2) 有确定的成分，可以用准确的分子式表达；(3) 具有典型的非金属性质。

4. 保持较高强度则应进行低温退火，使其只发生回复，去除残余应力；要继续冷变形则应进行高温退火，使其发生再结晶，以软化组织。

5. 扩散激活能的物理意义是原子跃迁过程中必须克服周围原子对其的阻碍，即必须克服势垒。相比而言，间隙扩散的激活能较小。

二、

1.

$$D_{927^{\circ}\text{C}} = D_0 \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right) = 2.0 \times 10^{-5} \exp\left(\frac{-1.4 \times 10^5}{8.31 \times (927 + 273)}\right)$$

$$D_{1027^{\circ}\text{C}} = D_0 \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right) = 2.0 \times 10^{-5} \exp\left(\frac{-1.4 \times 10^5}{8.31 \times (1027 + 273)}\right)$$

$$\frac{D_{1027^{\circ}\text{C}}}{D_{927^{\circ}\text{C}}} = \exp\left(\frac{-1.4 \times 10^5}{8.31 \times (1027 + 273)} - \frac{-1.4 \times 10^5}{8.31 \times (927 + 273)}\right)$$

$$= \exp\left(\frac{-1.4 \times 10^5}{108082} - \frac{-1.4 \times 10^5}{99768}\right)$$

$$= \exp(-12.953 + 14.033) = \exp(1.08) = 2.94$$

2. 由霍尔-配奇公式得：

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

3. BCC 密排面为 $\{110\}$ 面，其面积为： $A = a \times \sqrt{2}a = \sqrt{2}a^2$

$\{110\}$ 面上被原子占据的面积为（两个原子）：

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

堆积密度:
$$d = \frac{A'}{A} = \frac{3}{8\sqrt{2}} \pi = 0.8332$$

4.

(1) 见图 29-1。

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

两位错位于同一滑移面, 因此 G 相同, 故

$$\frac{W_{[01\bar{1}]}}{W_{[11\bar{2}]}} = \frac{|\vec{b}_{[01\bar{1}]}|^2}{|\vec{b}_{[11\bar{2}]}|^2} = \left(\frac{1/\sqrt{2}}{\sqrt{6}/2} \right)^2 = \frac{1}{3}$$

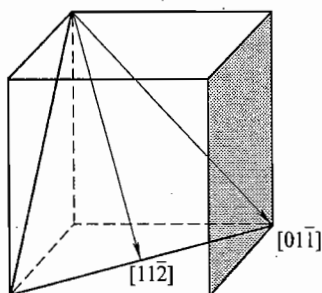


图 29-1 第二题第 4 小题解答图

三、

1.

晶界结构特征: 原子排列比较混乱, 含有大量缺陷。

晶界能量特征: 原子的能量较晶粒内部高, 活动能力强。

晶界特征:

(1) 晶界——畸变——晶界能——向低能量状态转化——晶粒长大、晶界变直——晶界面积减小。

(2) 阻碍位错运动—— σ_b 提高——细晶强化。

(3) 位错、空位等缺陷多——晶界扩散速度高。

(4) 晶界能量高、结构复杂——容易满足固态相变的条件——固态相变首先发生地。

(5) 化学稳定性差——晶界容易受腐蚀。

(6) 微量元素、杂质富集。

2.

(1) 组织结构: ①形成纤维组织, 晶粒沿变形方向被拉长; ②形成位错胞;

③晶粒

(

化。

(

等有影

(

变能

宏观

}

的准

③晶粒转动形成变形织构。

(2) 力学性能：位错密度增大，位错相互缠绕，运动阻力增大，造成加工硬化。

(3) 物理化学性能：其变化复杂，主要对导电、导热、化学活性、化学电位等有影响。

(4) 体系能量，包括两部分：①因冷变形产生大量缺陷引起点阵畸变，使畸变能增大；②因晶粒间变形不均匀和工件各部分变形不均匀引起的微观内应力和宏观内应力。这两部分统称为存储能，其中前者为主要的。

冷变形后引起的组织性能变化为合金随后的回复、再结晶作了组织和能量上的准备。

西安工业大学

试 卷 三 十

2002 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：金属学

适用专业：材料加工工程、材料物理与化学、材料学

一、名词解释（每题 2 分，共 20 分）

1. 配位数 2. 晶面族 3. 位错 4. 异质形核 5. 成分过冷
6. 反应扩散 7. 伪共晶 8. 重心定律 9. 交滑移 10. 再结晶

二、证明题（每题 5 分，共 10 分）

1. 试证明位错的柏氏矢量的方向和大小与柏氏回路的选取无关。
2. 试证明立方晶系的米勒指数为 (uvw) 的晶面与同指数晶向 $<uvw>$ 垂直。

$T_c >$

三、论述题（任选一题，每题 10 分，共 10 分）

1. 试指出三种以上提高金属材料强度的方法及其原理。
2. 试指出三种以上细化金属材料晶粒的方法及其原理。

四、完成下列各题（每题 5 分，共 15 分）

1. 写出立方晶系中 $<110>$ 和 $<123>$ 晶向族所包含的所有晶向。
2. 绘出 (110) 、 (112) 、 (113) 晶面的晶带轴，并写出其具体的晶向指数。
3. 试分析碳在奥氏体中的溶解度大于铁素体中的溶解度的原因。

五、完成下列各题（每题 5 分，共 30 分）

1. 画出铁碳双重相图，注明主要特征点、线的温度和成分。
2. 试分析铁碳双重相图产生的原因。
3. 分析含 Fe-0.4%C 合金平衡结晶过程，指出室温时的相组成和组织并计算组织中珠光体的含量。

称一

4. 若上述合金在 100cm 长的水平圆模中顺序凝固，假定凝固过程中固相无扩散，液体成分完全混合，相图中各线可简化为直线，求凝固结束时 δ 相、 γ 相和莱氏体组织的长度。

度不

5. 分析 Fe-3.6%C 合金获得珠光体基体灰口组织的结晶过程，并计算其中石

溶质

8. 重心定律：在三元合金相图中，如由 R 分解为 α 、 β 、 γ 三个相，则 R 相浓度点必定位于 $\Delta\alpha\beta\gamma$ 重心位置上（是三相重量重心，不是三角形几何中心），而且 R 相重量与 α 、 β 、 γ 三个相的重量有如下关系：

$$w_R \times Rd = w_\alpha \times \alpha d$$

$$w_R \times Re = w_\beta \times \beta e$$

$$w_R \times Rf = w_\gamma \times \gamma f$$

这就是重心定律，示意于图 30-2。

9. 交滑移：从一个滑移面跑到另一个滑移面上去的过程，而位错线的柏氏矢量保持不变。

10. 再结晶：形变金属在一定的加热条件下，通过新的可移动大角度晶界的形成及随后移动，从而形成无应变新晶粒组织的过程。

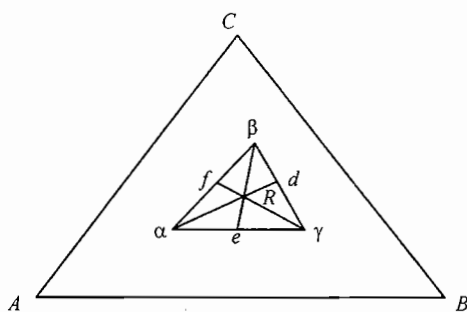


图 30-2 第一题第 8 小题解答图

二、

1. 证明：

用反证法证明：

假设有一条位错线 $PQRSP$ 组成一位错环，环内没有其他位错线（如图 30-3），如各处的柏氏矢量不同，设 PQR 段的柏氏矢量为 \vec{b}_1 ，其圈内为已滑移区 I，设 RSP 段的柏氏矢量为 \vec{b}_2 ，其圈内为已滑移区 II，则区 I 和区 II 为不同程度的滑移区，二者边界 PR 必为一位错线。这便与原假设矛盾，故 \vec{b}_1 与 \vec{b}_2 不应有差别，即：

$$\vec{b}_1 = \vec{b}_2$$

所以，位错的柏氏矢量的方向和大小与柏氏回路的选取无关。

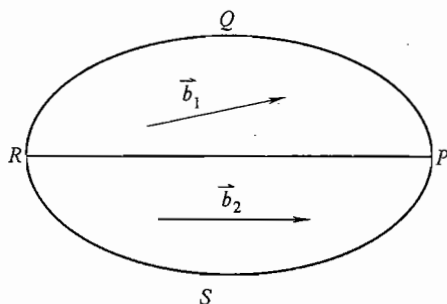


图 30-3 第二题第 1 小题解答图

2. 证明：

因为已知晶面的米勒指数为 (uvw)

且
相
下
手
及已

所以，

用，

抑制

难以

反比
大，

中，
化。

核率
粒的

[23

[12

即晶面在 x, y, z 轴的截距为: $1/u, 1/v, 1/w$;

根据平面方程: $x/a + y/b + z/c = 1$

可知该晶面方程为: $ux + vy + wz = 1$

再根据平面与向量为 $\{m, n, p\}$ 的直线垂直公式: $A/m = B/n = C/p$, 以及已知晶向指数为 $[uvw]$, 可知:

$$u/u = v/v = w/w (=1)$$

所以, 立方晶系的米勒指数为 (uvw) 的晶面与同指数晶向 $\langle uvw \rangle$ 垂直。

三、

1.

(1) 细晶强化。其原理是: 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, 使晶体内部的位错塞积或缠结处而难以运动, 从而达到强化晶体的作用。

2.

(1) 增加过冷度。由于晶粒数与形核率 N 成正比, 而与晶粒长大速率 V_g 成反比, 所以提高 N/V_g 就可细化晶粒。而且当增大过冷度时, 虽然 N 与 V_g 都增大, 而 N 增大速率比 V_g 快。因此, N/V_g 随过冷度的增加而增大, 即晶粒变细。

(2) 加入形核剂。在熔液凝固前加入一些细小的形核剂, 使之分散在熔液中, 作为不均匀形核所需的现成基底, 这样能使晶核数大大提高, 晶粒显著细化。

(3) 震动细化。使金属熔液在振动作用下进行凝固, 一方面提高了液相的形核率, 另一方面使生长的晶体破碎, 从而提供更多的结晶核心, 从而达到细化晶粒的目的。

四、

1.

(1) $\langle 110 \rangle$: $[110], [101], [011], [\bar{1}10], [\bar{1}01], [0\bar{1}1]$ 共 6 个晶向。

(2) $\langle 123 \rangle$: $[123], [132], [231], [213], [321], [312], [\bar{1}23], [\bar{1}32], [\bar{2}31], [\bar{2}13], [\bar{3}21], [\bar{3}12], [1\bar{2}3], [1\bar{3}2], [2\bar{3}1], [2\bar{1}3], [3\bar{2}1], [3\bar{1}2], [12\bar{3}], [13\bar{2}], [23\bar{1}], [21\bar{3}], [32\bar{1}], [31\bar{2}]$ 共 24 个晶向。

2. 设晶带轴为 $[u, v, w]$, 则由晶带轴定理有:

$$\begin{cases} u + v = 0 \\ u + v + 2w = 0 \\ u + v + 3w = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} w = 0 \\ u = -v \end{cases} \text{ 故方向指数为 } [1\bar{1}0] \text{ 或 } [\bar{1}10]$$

晶面及晶带轴示于图 30-4。

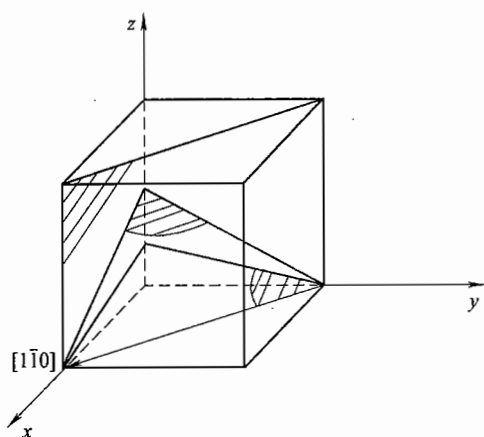


图 30-4 第四题第 2 小题解答图

3. 奥氏体是面心立方晶体，铁素体是体心立方晶体，而不论是面心立方还是体心立方，碳原子均处于它们的八面体间隙中。而面心立方的八面体间隙尺寸为： 0.535\AA [⊖]，体心立方的八面体间隙为： 0.129\AA 。因此可以看出，碳在奥氏体中的溶解度要远大于碳在铁素体中的溶解度。

五、

1. 略。

2. 从热力学上分析得知，石墨的自由能总量低于 Fe_3C 。因此，石墨是更稳定的相，而 Fe_3C 是介稳定相，故通常将 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 称为介稳定系，而将 $\text{Fe}-\text{C}$ 系称为稳定系。

从动力学上分析，由于 Fe_3C 含碳 6.69%，而石墨含碳 100%，而常用钢铁材料的含碳量小于 5%。这样，形成石墨相所需的成分起伏比形成 Fe_3C 大得多，也就是说形成石墨核心比形成 Fe_3C 核心要难得多。

因此，热力学的稳定性和动力学上进行的难易决定了在不同条件下，铁碳合金两个二元系都可能发生。

3. 当 $C\% = 0.4\%$ ， $\text{Fe}-\text{C}$ 合金冷却至室温时：

相组成物： $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$

组织组成物： $P + \alpha$

组织中珠光体的含量：

$$P\% = [(0.4 - 0.0218) / (0.77 - 0.0218)] \times 100\% = 50.55\%$$

⊖ $1\text{\AA} = 10^{-10}\text{m}$ 。

4. 利用公式: $C_s = K_0 C_0 (1 - Z/L)^{K_0 - 1}$

先求 δ 相的长度:

已知 $C_0 = 0.4$, 且可求得:

$$K_0 = C_s / C_L = 0.09 / 0.53 = 0.1698$$

将以上条件代入公式得:

$$0.09 = 0.1698 \times 0.4 \times (1 - Z_1 / L_1)^{0.1698 - 1}$$

$$0.09 / 0.06792 = (1 - Z_1 / 100)^{-0.8302}$$

$$1.325 = (1 - Z_1 / 100)^{-0.8302}$$

$$(1 - Z_1 / 100)^{0.8302} = 1 / 1.325 = 0.7547$$

$$1 - Z_1 / 100 = 0.7125$$

$$Z_1 = 28.75 \text{ cm}$$

再求 γ 相的长度:

因为

$$L_2 = (100 - 28.75) \text{ cm} = 71.25 \text{ cm}$$

且

$$C_0' = 0.53, K_0' = 2.11 / 4.3 = 0.4907$$

所以

$$2.11 = 0.4907 \times 0.53 \times (1 - Z_2 / 71.25)^{0.4907 - 1}$$

$$2.11 / 0.26007 = (1 - Z_2 / 71.25)^{-0.5093} = 8.1132$$

$$(1 - Z_2 / 71.25)^{0.5093} = 1 / 8.1132 = 0.12326$$

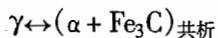
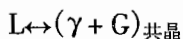
$$1 - Z_2 / 71.25 = 0.0164$$

$$Z_2 = 70.08 \text{ cm}$$

所以, 最终得到的莱氏体组织长度为:

$$(100 - 28.75 - 70.08) \text{ cm} = 1.17 \text{ cm}$$

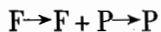
5. 对于 Fe-3.6% C 合金, 要获得珠光体基体灰铸铁组织, 根据 Fe-石墨相图, 有:



其中石墨的含量为:

$$w_G = \frac{3.6 - 0.68}{100 - 0.68} \times 100\% \approx 2.94\%$$

6. 碳浓度分布曲线见图 30-5。在 800°C 脱碳条件下(至室温)得到以下组织:



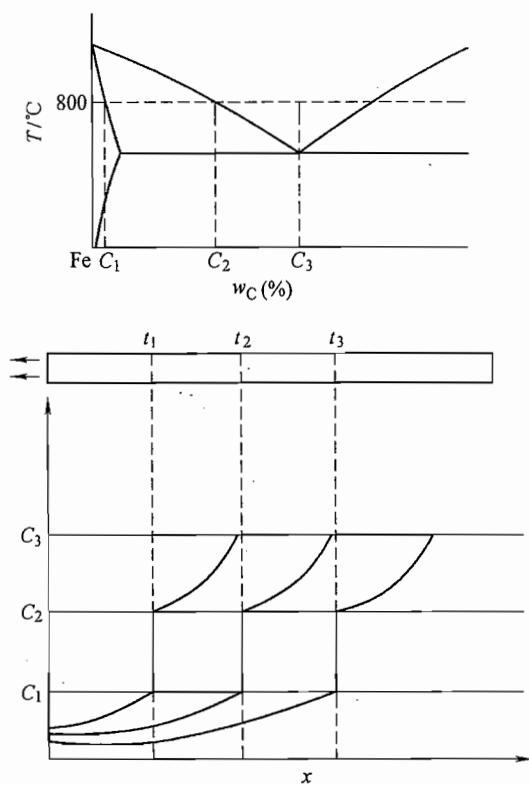


图 30-5 第五题第 6 小题解答图

六、

1. 见图 30-6a。

2. 见图 30-6b。

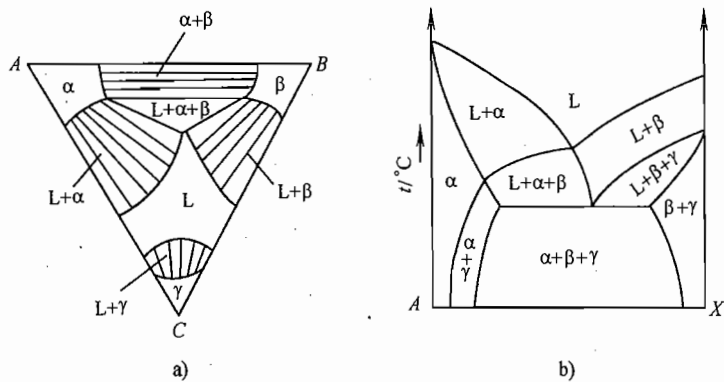


图 30-6 第六题解答图

2

考试和
适用

所以，

体和

原子

原子
× 10

[11],

试卷三十一

2003 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目:材料科学基础

适用专业:材料加工工程、材料物理与化学、材料学

一、名词解释(每题 2 分,共 10 分)

1. 配位数 2. 间隙相 3. 上坡扩散 4. 临界晶核 5. 相区接触法则

二、改错题(每题 2 分,共 10 分)

1. 奥氏体是面心立方结构,致密度高,而铁素体是体心立方结构,致密度低。所以,碳在奥氏体中的溶解度要比铁素体中的低。

2. 刃型位错和螺型位错都可以滑移和攀移。

3. 面心立方结构间隙固溶体中,溶质原子容易通过四面体间隙进行扩散。

4. 铁-碳相图中有五个单相区,五个单相分别是渗碳体、奥氏体、珠光体、莱氏体和铁素体。

5. 变形金属的回复再结晶是固态下发生的相变。

三、计算题(每题 5 分,共 10 分)

1. 已知铜为 FCC 结构,其原子半径为 0.1278nm ,试计算其密度为多少?(铜的原子量为 63.5,阿伏伽德罗(Avogadro)常数为 0.602×10^{24})

2. 设碳原子均处于 $\gamma\text{-Fe}$ 中的八面体间隙,试计算 $\gamma\text{-Fe}$ 中的八面体间隙被碳原子占据的最大比例。(铁的原子量为 55.85,阿伏伽德罗(Avogadro)常数为 0.602×10^{24})

四、完成下列各题(任选两题,每题 5 分,共 10 分)

1. 写出立方晶系中 $\{110\}$ 、 $\{111\}$ 、 $\{112\}$ 、 $\{123\}$ 晶面族所包含的所有晶面。

2. 若体心立方晶体的滑移面为 $\{110\}$ 、 $\{112\}$ 、 $\{123\}$,而滑移方向具体确定为 $[\bar{1}11]$,试写出具体的滑移系。

3. 绘出 (110) 、 (112) 、 (113) 晶面的晶带轴,并写出其具体的方向指数。

4. 试在面心立方晶胞中画出 $\{110\}$ 晶面和 $\langle 110 \rangle$ 晶向。

五、完成下列各题(每题 6 分,共 30 分)

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

2. 说明相图中各主要特征点(至少 6 个点)的物理意义及所处温度和成分。

3. 说明相图中各水平线的相变过程,相变产物及反应条件。

3. 错误。在面心立方结构中,溶质原子易通过八面体间隙进行扩散。
4. 错误。铁-碳相图中有五个单相区,分别是:液相、铁素体 δ 、铁素体 α 、奥氏体 γ 、渗碳体 Fe_3C 。
5. 错误。变形金属的回复再结晶不是相变,因为所形成新晶粒没有改变其晶体结构类型。

三、

1. 已知,Cu 点阵为 FCC 结构,即单位晶胞拥有 4 个原子,欲求其密度 ρ ,只需求单位晶胞的原子质量与单位晶胞体积之比

$$\rho = \frac{nM}{N_A(2\sqrt{2}r)^3} = \frac{4 \times 63.5 \times 10^{-3}}{0.602 \times 10^{24} \times (2\sqrt{2} \times 0.1278 \times 10^{-9})^3} \text{kg/m}^3 \approx 8933 \text{kg/m}^3$$

2. 在 $\gamma\text{-Fe}$ 相中,C 浓度 $C_{\max} = 2.11\%$,已知 $\gamma\text{-Fe}$ 为 FCC 结构, $n = 4$,每 100 个单胞中有 400 个 Fe 原子,其质量分数为:

$$w_{\text{Fe}} = 1 - 2.11\% = 97.89\%$$

总质量为:
$$M = \frac{400 \times 55.85}{0.9789} = 22821.5$$

碳原子个数为:
$$n_c = \frac{MC_{\max}}{M_c} = \frac{22821.5 \times 0.0211}{12} = 40$$

可知,每 100 个晶胞中有 40 个碳原子。

四、

1.

(1) $\{110\} = (110)(101)(011)(\bar{1}10)(\bar{1}01)(0\bar{1}1)$ 共 6 个。

(2) $\{111\} = (111)(\bar{1}11)(1\bar{1}1)(11\bar{1})$ 共 4 个。

(3) $\{112\} = (112)(\bar{1}12)(1\bar{1}2)(11\bar{2}) + (121)(\bar{1}21)(1\bar{2}1)(12\bar{1}) + (211)(\bar{2}11)(2\bar{1}1)(21\bar{1})$ 共 12 个。

(4) $\{123\} = (123)(\bar{1}23)(1\bar{2}3)(12\bar{3}) + (132)(\bar{1}32)(1\bar{3}2)(13\bar{2}) + (213)(\bar{2}13)(2\bar{1}3)(21\bar{3}) + (231)(\bar{2}31)(2\bar{3}1)(23\bar{1}) + (312)(\bar{3}12)(3\bar{1}2)(31\bar{2}) + (321)(\bar{3}21)(3\bar{2}1)(32\bar{1})$ 共 24 个。

2.

(1) $\{110\}[\bar{1}\bar{1}1]: (110)[\bar{1}\bar{1}1], (10\bar{1})[\bar{1}\bar{1}1], (011)[\bar{1}\bar{1}1]$ 。

(2) $\{112\}[\bar{1}\bar{1}1]: (\bar{1}12)[\bar{1}\bar{1}1], (121)[\bar{1}\bar{1}1], (21\bar{1})[\bar{1}\bar{1}1]$ 。

(3) $\{123\}[\bar{1}\bar{1}1]: (\bar{1}23)[\bar{1}\bar{1}1], (\bar{2}13)[\bar{1}\bar{1}1], (231)[\bar{1}\bar{1}1], (31\bar{2})[\bar{1}\bar{1}1], (132)[\bar{1}\bar{1}1], (32\bar{1})[\bar{1}\bar{1}1]$ 。

3. 设晶带轴为 $[u, v, w]$,则由晶带轴定理有:

五、

1. 略。

2. 见表 31-1。

表 31-1 第五题第 2 小题解答表

序号	符号	温度/°C	$w_C(\%)$	物理意义
1	A	1538	0	纯铁的熔点
2	B	1495	0.53	包晶转变时液相的成分
3	C	1148	4.3	共晶点
4	D	1227	6.69	渗碳体的熔点
5	E	1148	2.11	碳在 $\gamma\text{-Fe}$ 中的最大溶解度
6	F	1148	6.69	渗碳体的成分
7	G	912	0	$\alpha\text{-Fe} \rightleftharpoons \gamma\text{-Fe}$ 转变温度
8	H	1495	0.09	碳在 $\delta\text{-Fe}$ 中的最大溶解度

3.

HJB 水平线发生包晶反应: $L_B + \delta_H \rightleftharpoons \gamma_J$; 产物: 奥氏体 (A)。ECF 线发生共晶反应: $L_C \rightleftharpoons \gamma_E + \text{Fe}_3\text{C}$; 产物为: 莱氏体 (Ld)。PSK 线发生共析反应: $\gamma_S \rightleftharpoons \alpha_P + \text{Fe}_3\text{C}$; 产物: 珠光体 (P)。

4. 略。

5. 各组织组成物的相对含量:

$$w_P = \frac{0.40 - 0.0218}{0.77 - 0.0218} \times 100\% = 50.5\%$$

$$w_\alpha = 1 - w_P = 1 - 50.5\% = 49.5\%$$

各相的相对含量:

$$w_\alpha = \frac{6.69 - 0.40}{6.69 - 0.0008} \times 100\% = 94\%$$

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

六、

1. 低碳钢退火试样的静拉伸曲线见图 31-4a。

(1) 若低碳钢冷轧后立即进行静拉伸, 其屈服中的屈服平台消失 (屈服点消失), 见图 31-4b。

(2) 放置几天后再进行静拉伸, 屈服中屈服点又复出现, 且屈服应力提高, 见图 31-4c。

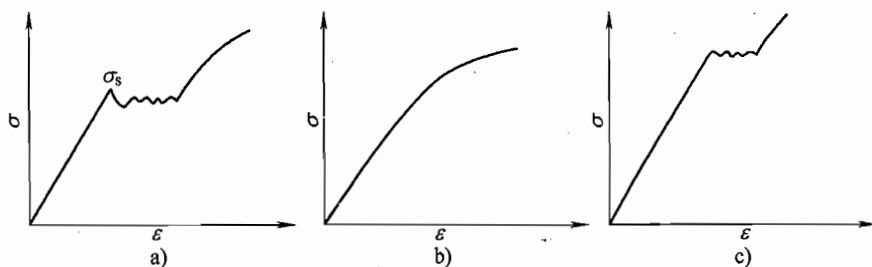


图 31-4 第六题第 1 小题解答图

2.

(1) 见图 31-5a。

(2) 见图 31-5b。

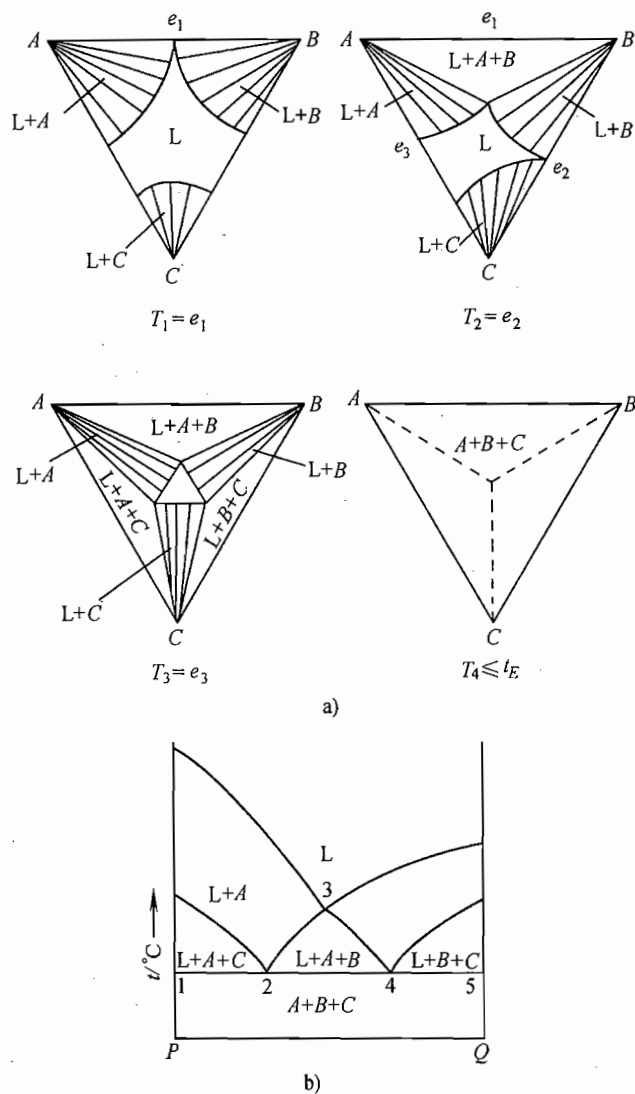


图 31-5 第六题第 2 小题解答图

2

考试
适用

的碳
间隙
2
当 N
面。
为 [

试卷三十二

2004 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料加工工程、材料物理与化学、材料学

一、名词解释（每题 3 分，共 15 分）

1. 致密度 2. 平衡分配系数 3. 非稳态扩散 4. 临界形核功 5. 扩展位错

二、指出下列说法的错误并予以改正（每题 4 分，共 20 分）

1. 低碳钢薄板冲压成型时所出现的吕德斯带是发生孪生变形所致。
2. 只要符合能量条件就可以发生位错反应。
3. 间隙固溶体属于间隙相。
4. 交滑移是交替滑移的简称。
5. 变形金属的再结晶也具有形核长大过程，故是一种固态相变。

三、计算题（每题 15 分，共 30 分）

1. 设碳原子均处于 γ -Fe 中的八面体间隙，在 1000°C 时有重量百分比为 1.7 的碳原子溶入 γ -Fe。试计算在 100 个单位晶胞中有多少个碳原子，并确定八面体间隙被碳原子占据的比例（铁的原子量为 55.85，碳的原子量为 12.01）。

2. 退火低碳钢在晶粒大小为 $N_A = 16$ 个/ mm^2 时，其屈服强度 $\sigma_s = 100\text{MPa}$ ；当 $N_A = 4096$ 个/ mm^2 时， $\sigma_s = 250\text{MPa}$ 。试计算 $N_A = 250$ 个/ mm^2 时的 σ_s 为多少？

四、完成下列各题（每题 10 分，共 30 分）

1. 写出立方晶系中 $\{110\}$ 、 $\{111\}$ 、 $\{112\}$ 、 $\{123\}$ 晶面族所包含的所有晶面。

2. 若体心立方晶体的滑移面为 $\{110\}$ 、 $\{112\}$ 、 $\{123\}$ ，而滑移方向具体确定为 $[1\bar{1}1]$ ，试写出具体的滑移系。

3. 绘出 (110) 、 (112) 、 (113) 晶面的晶带轴，并写出其具体的方向指数。

五、完成下列各题（每题 10 分，共 40 分）

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

2. 说明相图中各主要特征点（至少 6 个点）的物理意义及所处温度和成分。

3. 画出按组织分区的 $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$ 平衡相图，并填写各区。

4. 试计算含 0.40% C 合金平衡冷却到室温时各个相的相对含量。

六、完成下列各题（共 15 分）

设有三种三元相图的四相平衡如图 32-1 所示, 试完成下列两题:

1. 写出各图的四相平衡反应式, 并说明反应的类型 (5 分)。
2. 写出各图中与四相平面上下连接的三相平衡区 (10 分)。

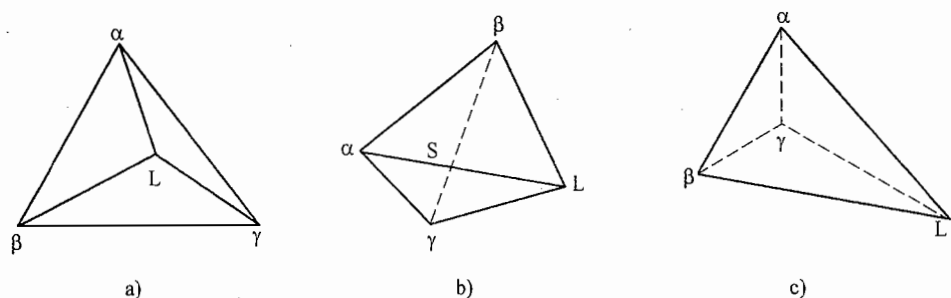


图 32-1 第六题图

标准答案

一、

1. 致密度: 一个晶胞内原子所占体积与晶胞体积之比。
2. 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 $k_0 = C_S / C_L$ 。

3. 非稳态扩散: 浓度梯度与扩散通量都随时间和距离而变化的扩散。

4. 临界形核功: 形成临界晶核时自由能的增量。

5. 扩展位错: FCC 晶体中的全位错, 因能量高, 很难存在, 要自动分解为两个不全位错和中间的堆垛层错, 形成了所谓的扩展位错组态。

二、

1. 低碳钢薄板冲压成型时所出现的吕德斯带是由于屈服延伸区产生不均匀变形而产生的宏观带状组织。

2. 符合几何条件和能量条件才能发生位错反应, 能量越低越稳定, 能量越高越不稳定。

3. 间隙固溶体是指溶质原子存在于溶剂晶格的间隙内而形成的固溶体, 它仍然保持着溶剂原子的晶体结构。间隙相是原子半径很小的非金属元素和过渡族金属元素之间形成的化合物, 其晶格类型与形成该相的组元均不相同。

4. 所谓交滑移, 就是位错线从一个滑移面跑到另一个滑移面上的过程。交替滑移是由两个不同的滑移系分别起动而进行的滑移, 在时间上有先后之别。

5. 变形金属的再结晶形核长大过程的晶格类型不发生改变, 故不是固态相变。

三、

1. γ -Fe 是面心立方结构, 每个晶胞中有 4 个 Fe 原子, 有 4 个八面体间隙。设一个晶胞中有 A 个碳原子, 则:

$$\frac{100A \times 12.01}{100 \times 4 \times 55.85 + 100A \times 12.01} = 1.7\%$$

解得 $A = 0.32$

所以 100 个晶胞中碳原子数为: $0.32 \times 100 = 32$

八面体间隙被 C 原子占据的比例:

$$A/4 = 0.32/4 = 0.08 = 8\%$$

2. 根据霍尔-配奇公式: $\sigma_s = \sigma_0 + Kd^{-1/2}$

因 N_A 与其晶粒直径 d 的平方成反比, 故有:

$$\sigma_s = 100\text{MPa} = \sigma_0 + Kd_1^{-1/2}$$

$$\sigma_s = 250\text{MPa} = \sigma_0 + Kd_2^{-1/2}$$

$$\sigma_s = \sigma_0 + Kd_3^{-1/2}$$

又有

$$d_2/d_1 = 1/16 \quad d_3/d_1 = 4/5 \sqrt{10}$$

可以解出

$$\sigma_s = 149\text{MPa}$$

四、

1.

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

(2) $\{111\}$: (111) 、 $(\bar{1}11)$ 、 $(1\bar{1}1)$ 、 $(11\bar{1})$ 。

(3) $\{112\}$: (112) 、 (121) 、 (211) 、 $(\bar{1}12)$ 、 $(\bar{1}21)$ 、 $(2\bar{1}1)$ 、 $(1\bar{1}2)$ 、 $(1\bar{2}1)$ 、 $(2\bar{1}\bar{1})$ 、 $(11\bar{2})$ 、 $(12\bar{1})$ 、 $(21\bar{1})$ 。

(4) $\{123\}$: (123) 、 $(\bar{1}23)$ 、 $(1\bar{2}3)$ 、 $(12\bar{3})$ 、 (132) 、 $(\bar{1}32)$ 、 $(1\bar{3}2)$ 、 $(13\bar{2})$ 、 (213) 、 $(\bar{2}13)$ 、 $(2\bar{1}3)$ 、 $(21\bar{3})$ 、 (231) 、 $(\bar{2}31)$ 、 $(2\bar{3}1)$ 、 $(23\bar{1})$ 、 (312) 、 $(\bar{3}12)$ 、 $(3\bar{1}2)$ 、 $(31\bar{2})$ 、 (321) 、 $(\bar{3}21)$ 、 $(3\bar{2}1)$ 、 $(32\bar{1})$ 。

2.

(1) $\{110\}[1\bar{1}1]$: $(110)[1\bar{1}1]$ 、 $(10\bar{1})[1\bar{1}1]$ 、 $(011)[1\bar{1}1]$ 。

(2) $\{112\}[1\bar{1}1]$: $(\bar{1}12)[1\bar{1}1]$ 、 $(121)[1\bar{1}1]$ 、 $(21\bar{1})[1\bar{1}1]$ 。

(3) $\{123\}[1\bar{1}1]$: $(\bar{1}23)[1\bar{1}1]$ 、 $(\bar{2}13)[1\bar{1}1]$ 、 $(231)[1\bar{1}1]$ 、 $(31\bar{2})[1\bar{1}1]$ 、 $(132)[1\bar{1}1]$ 、 $(32\bar{1})[1\bar{1}1]$ 。

3. 凡平行于同一直线的晶面组成一个晶带, 该直线就称为晶带轴, 两个不平行的晶面的交线就是这两个晶面组成的晶带的晶带轴。

设晶带轴为 $[u, v, w]$, 则由晶带轴定理有:

$$\begin{cases} u + v = 0 \\ u + v + 2w = 0 \\ u + v + 3w = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} w = 0 \\ u = -v \end{cases} \text{故方向指数为 } [1\bar{1}0] \text{ 或 } [\bar{1}10]$$

晶面及晶带轴如图 32-2 所示。

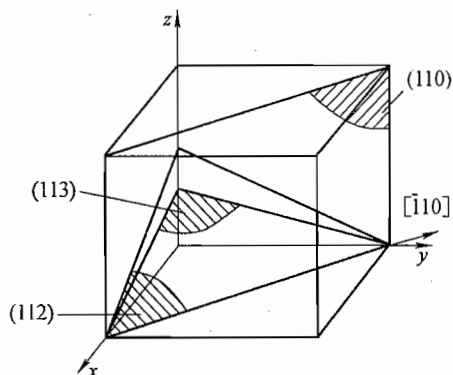


图 32-2 第四题第 3 小题解答图

五、

1. 略。

2. 见表 32-1。

表 32-1 第五题第 2 小题解答表

序号	符号	温度/°C	$w_C(\%)$	物理意义
1	A	1538	0	纯铁的熔点
2	B	1495	0.53	包晶转变时液相的成分
3	C	1148	4.3	共晶点
4	D	1227	6.69	渗碳体的熔点
5	E	1148	2.11	碳在 $\gamma\text{-Fe}$ 中的最大溶解度
6	F	1148	6.69	渗碳体的成分
7	G	912	0	$\alpha\text{-Fe} \rightleftharpoons \gamma\text{-Fe}$ 转变温度
8	H	1495	0.09	碳在 $\delta\text{-Fe}$ 中的最大溶解度
9	J	1495	0.17	包晶点

3. 略。

4. 含 0.4% C 合金的室温组织为铁素体和渗碳体, 根据杠杆平衡定律有:
铁素体相对含量 = $(6.69 - 0.40)/6.69 = 94\%$

γ, L

$+ \gamma,$

接三

渗碳体相对含量 = $1 - 94\% = 6\%$

六、

1. 平衡反应式为: a) 四相共晶反应: $L \rightleftharpoons \alpha + \beta + \gamma$

b) 包共晶反应: $L + \alpha \rightleftharpoons \beta + \gamma$

c) 四相包晶反应: $L + \alpha + \beta \rightleftharpoons \gamma$

2.

(1) 图 32-1a 中, 四相平面之上邻接三个三相区, 分别为: $L + \alpha + \beta$ 、 $L + \alpha + \gamma$ 、 $L + \beta + \gamma$, 四相平面之下邻接一个三相区: $\alpha + \beta + \gamma$ 。

(2) 图 32-1b 中, 四相平面之上邻接两个三相区, 分别为: $\beta + \alpha + L$ 、 $\alpha + L + \gamma$, 四相平面之下邻接两个三相区: $\alpha + \beta + \gamma$ 、 $\beta + \gamma + L$ 。

(3) 图 32-1c 中, 四相平面之上邻接一个三相区: $\alpha + \beta + L$, 四相平面之下邻接三个三相区, 分别为: $\alpha + \beta + \gamma$ 、 $\alpha + \gamma + L$ 、 $\beta + \gamma + L$ 。

试卷三十三

2005 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料加工工程、材料物理与化学、材料学

一、名词解释（每题 2 分，共 10 分）

1. 配位数 2. 柯氏气团 3. 非稳态扩散 4. 临界切应力 5. 离异共晶

二、指出下列说法的错误并予以改正（每题 4 分，共 20 分）

1. 低碳钢和铝合金塑性都比较好，因此它们的室温拉伸曲线形状一样。
 2. 刃型位错和螺型位错的柏氏矢量分别与位错线的方向矢量垂直和平行，因此一根弯曲的位错线就有不同的性质。
 3. 间隙固溶体和间隙化合物都属于间隙相。
 4. 交滑移可以使晶体发生多系滑移。
 5. 固态下无相变的金属或合金，如不重熔，就不能改变其晶粒大小。
- #### 三、计算题（每题 15 分，共 30 分）

1. 试计算面心立方晶体中 (100)、(110)、(111) 各面的致密度，并指出哪个面为密排面。
2. 有一长为 20cm、面积为 4cm^2 的金属试棒上端固定，下端加以 980N 的拉力。试求下列与金属试棒中心线成 0° 、 30° 、 45° 、 θ° 交角各面的正应力和切应力，并画出正应力和切应力与 θ 角的关系曲线，找出切应力最大时的 θ 角。

四、完成下列各题（每题 10 分，共 30 分）

1. 写出 $\langle 110 \rangle$ 、 $\langle 111 \rangle$ 、 $\langle 112 \rangle$ 、 $\langle 123 \rangle$ 晶向族所包含的所有晶向。
2. 若面心立方晶体的滑移面为 $(1\bar{1}1)$ ，试写出具体的滑移系。
3. 绘出 (110)、(112)、(113) 晶面的晶带轴，并写出其具体的方向指数。

五、完成下列各题（每题 10 分，共 40 分）

1. 画出 Fe-Fe₃C 的平衡相图，并填写相区。
2. 说明相图中各主要特征点（至少 6 个点）的物理意义及所处温度和成分。
3. 现有两批同样粗细的 20 钢和 T10 钢发生混料，试提出至少两种以上的检验方法把它们明确地区别开来，并确定这两种材料在 Fe-Fe₃C 平衡相图中的位置。

些微
侧。

称才

很多
晶」
征

4. 试计算含 0.40% C 合金平衡冷却到室温时各个相的相对含量。

六、完成下列各题 (共 20 分)

图 33-1 为 Cu-Mn-Zn 三元合金液相面等温线的投影图, 试求:

1. 写出 I 和 II 点合金的成分 (5 分)。
2. 写出 I 和 II 点合金的熔点 (5 分)。
3. 说明 M 点发生哪一类四相反应, 并写出其化学反应式 (10 分)。

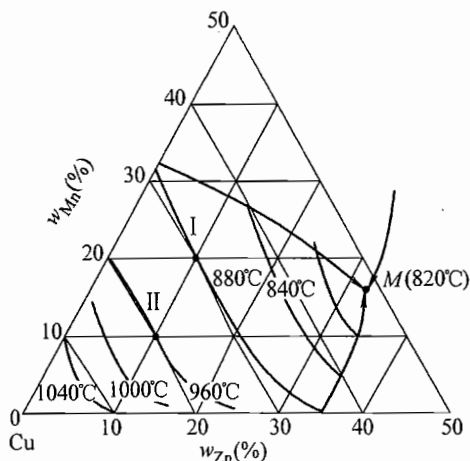


图 33-1 第六题图

标准答案

一、

1. 配位数: 晶体结构中任一原子和邻近且距离相等的原子数。

2. 柯氏气团: 某些塑性材料出现屈服点与金属中溶有微量间隙元素有关, 这些微量元素的间隙原子在温度和时间合适的条件下, 聚集在位错线受膨胀的一侧。这样就在位错线附近聚集了一些间隙原子, 形成所谓柯氏气团。

3. 非稳态扩散: 浓度梯度与扩散通量都随时间和距离而变化的扩散。

4. 临界切应力: 当 $\sigma_0 = \sigma_s$ 时, 晶体开始滑移, 此时滑移方向上的分切应力称为临界切应力。

5. 离异共晶: 对于某些成分远离共晶点的亚共晶或过共晶合金, 由于初晶量很多, 而共晶的量很少。在共晶转变中, 若晶体中与初晶相邻的那个相依附在初晶上生长, 而剩下的另一相则单独存在于初晶晶粒的晶界处, 从而使共晶组织特征消失, 这种两相分离的共晶称为离异共晶。

二、

1. 低碳钢和铝合金塑性都比较好, 但它们的室温拉伸曲线形状不一样。低碳钢中因为存有柯氏气团而有明显上下屈服点现象, 铝合金则没有明显屈服点现象。

2. 刃型位错和螺型位错的柏氏矢量分别与位错线的方向矢量垂直和平行, 一根弯曲的位错线其柏氏矢量恒定不变, 但各处的性质随着位错线的方向矢量与柏氏矢量的几何关系不同而不同。

3. 间隙固溶体属于固溶体, 其晶体结构仍保持原溶剂原子的晶体结构。间隙化合物和间隙相都形成了与原溶剂原子的晶体结构不同的新结构。

4. 交滑移就是位错线从一个滑移面转移到另一个滑移面的过程。

5. 固态下无相变的金属或合金, 如不重熔, 通过塑性变形和再结晶处理也能改变其晶粒大小。

三、

1. 对于面心立方晶体, 其原子半径 $r = \frac{\sqrt{2}}{4}a$, 而 (100)、(110)、(111) 面上均有 2 个原子, 故这三个晶面的面密度分别为:

$$\eta = \frac{2 \times \pi \left(\frac{\sqrt{2}}{4}a \right)^2}{a^2} = 2\pi \times \frac{1}{8} = \frac{\pi}{4} = 0.785$$

$$\eta = \frac{2 \times \pi \left(\frac{\sqrt{2}}{4}a \right)^2}{\sqrt{2}a \times a} = \frac{2\pi \times \frac{1}{8}}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{8}\pi = 0.56$$

$$\eta = \frac{2\pi \left(\frac{\sqrt{2}}{4}a \right)^2}{\frac{1}{2}\sqrt{2}a \sqrt{2}a \sin 60^\circ} = \frac{2\pi \times \frac{1}{8}}{\frac{\sqrt{3}}{2}} = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} = 0.90$$

可见 (111) 面致密度最大, 故面心立方晶体的密排面为 (111) 面。

2. 设金属棒横截面积为 A , θ 为斜截面与金属棒中心线的夹角, 则:

斜截面积为
$$A_\theta = \frac{A}{\sin \theta}$$

斜截面的应力为
$$P_\theta = \frac{P}{A_\theta} = \frac{P}{A} \sin \theta = \sigma \sin \theta$$

将 P_θ 分解成垂直于斜截面的正应力 σ_θ 和切于斜截面的切应力 τ_θ

$$\sigma_{\theta} = P_{\theta} \sin \theta = \sigma \sin^2 \theta$$

$$\tau_{\theta} = P_{\theta} \cos \theta = \sigma \sin \theta \cos \theta = \frac{\sigma}{2} \sin 2\theta$$

当 $\theta = 0^\circ$ 时: $\sigma_{\theta} = 0$; $\tau_{\theta} = 0$

当 $\theta = 30^\circ$ 时: $\sigma_{\theta} = 612500 \text{ Pa}$; $\tau_{\theta} = 1060881 \text{ Pa}$

当 $\theta = 45^\circ$ 时: $\sigma_{\theta} = 122500 \text{ Pa}$; $\tau_{\theta} = 1225000 \text{ Pa}$

45° 为最大角 (图略)。

四、

1.

(1) $\langle 110 \rangle$: $[110]$, $[101]$, $[011]$, $[\bar{1}10]$, $[\bar{1}01]$, $[0\bar{1}1]$ 共 6 个晶向。

(2) $\langle 111 \rangle$: $[111]$, $[\bar{1}\bar{1}\bar{1}]$, $[1\bar{1}\bar{1}]$, $[\bar{1}1\bar{1}]$ 共 4 个晶向。

(3) $\langle 112 \rangle$: $[112]$, $[121]$, $[211]$, $[\bar{1}\bar{1}2]$, $[\bar{1}2\bar{1}]$, $[2\bar{1}\bar{1}]$, $[1\bar{1}2]$, $[1\bar{2}1]$, $[2\bar{1}1]$, $[11\bar{2}]$, $[12\bar{1}]$, $[21\bar{1}]$ 共 12 个晶向。

(4) $\langle 123 \rangle$: $[123]$, $[132]$, $[213]$, $[231]$, $[312]$, $[321]$, $[\bar{1}\bar{2}\bar{3}]$, $[\bar{1}\bar{3}\bar{2}]$, $[\bar{2}\bar{1}\bar{3}]$, $[\bar{2}\bar{3}\bar{1}]$, $[\bar{3}\bar{1}\bar{2}]$, $[\bar{3}\bar{2}\bar{1}]$, $[1\bar{2}3]$, $[1\bar{3}2]$, $[2\bar{1}3]$, $[2\bar{3}1]$, $[3\bar{1}2]$, $[3\bar{2}1]$, $[12\bar{3}]$, $[13\bar{2}]$, $[21\bar{3}]$, $[23\bar{1}]$, $[31\bar{2}]$, $[32\bar{1}]$ 共 24 个晶向。

2. 设位于 $(1\bar{1}1)$ 面上的晶向为 $[u, v, w]$, 按晶带定理有

$$1 \times u - 1 \times v + 1 \times w = u - v + w = 0$$

若 $u = 0$, 则 $w = v$, 得 $[011]$
 $[0\bar{1}\bar{1}]$ 。

若 $v = 0$, 则 $u = -w$, 得 $[10\bar{1}]$
 $[\bar{1}01]$ 。

若 $w = 0$, 则 $u = v$, 得 $[110]$
 $[\bar{1}\bar{1}0]$ 。

3. 设晶带轴为 $[u, v, w]$, 则由晶带轴定理有:

$$\begin{cases} u + v = 0 \\ u + v + 2w = 0 \\ u + v + 3w = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} w = 0 \\ u = -v \end{cases} \text{ 故为}$$

$[1\bar{1}0]$ 或 $[\bar{1}10]$ 。

晶面及晶带轴示于图 33-2。

五、

1. 略。

2. 见表 33-1。

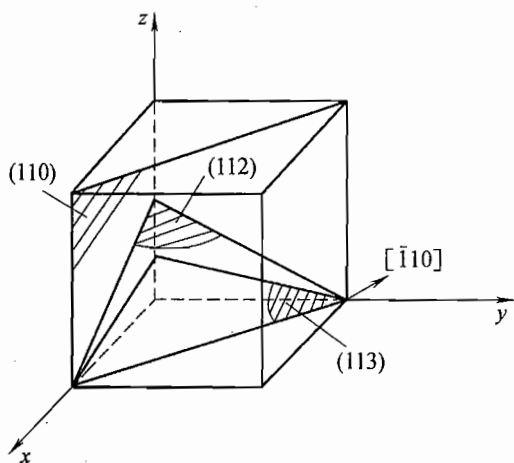


图 33-2 第四题第 3 小题解答图

表 33-1 第五题第 2 小题解答表

特殊点	温度/℃	成分 w_C (%)	物理意义
A	1538	0	纯 Fe 熔点
B	1495	0.53	包晶转变液相的成分
C	1148	4.30	共晶点
D	1227	6.69	Fe_3C 熔点
E	1148	2.11	C 在 γ -Fe 中最大溶解度
F	1148	6.69	Fe_3C 成分
S	727	0.77	共析点
P	727	0.0218	C 在 α -Fe 中的最大溶解度

3. 可以通过打硬度、金相观察, 以及将其放在砂轮机上打磨观察火花来区分两种钢。

4. $w_C = 0.40\%$ 的室温组织中 (组成物中) 相组成为 α 和 Fe_3C , 其中

$$w_\alpha = \frac{6.69 - 0.40}{6.69} \times 100\% = 94.0\% \quad w_{Fe_3C} = 1 - 94\% = 6.0\%$$

六、

1. I Mn: 20%; Zn: 10%; Cu: 70%

II Mn: 10%; Zn: 10%; Cu: 80%

2. I 880℃; II 960℃

3. 四相共晶反应: $L \xrightleftharpoons{820^\circ C} Mn + Cu + Zn$

20
考试和
适用性

效。

(计算
× 10⁴
为 mi

为多

[110

试卷三十四

2006 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料加工工程、材料物理与化学、材料学

一、名词解释（每题 2 分，共 10 分）

1. 晶胞原子数 2. 间隙化合物 3. 柯肯达尔效应 4. 过冷度 5. 应变时效。

二、是非判断并改错题（每题 4 分，共 20 分）

1. 奥氏体和珠光体都是碳在具有体心立方结构 α -Fe 中的固溶体。
2. 刃型位错和螺型位错的柏氏矢量随着位错线方向矢量的改变而改变。
3. 溶质原子的扩散总是由浓度高的部位向浓度低的部位进行。
4. 铁-碳相图中发生共析的水平线上下都是两相区，不符合相区接触法则。
5. 马氏体相变和贝氏体相变都属于无扩散性固态相变。

三、计算题（共 2 题，可任选 1 题，每题 20 分，共 20 分）

1. 画出纯铜晶体的一个晶胞，并完成下列工作：

- (1) 计算 (001)、(110)、(111) 晶面的原子密度，并作以比较。
- (2) 计算 [001]、[110]、[111] 晶向的原子密度，并作以比较。
- (3) 在图上画出发生滑移的一个晶面以及这个晶面上所发生滑移的晶向。

2. 若含碳量为 0.8% 高碳钢的原始晶粒度为 0.05mm，试完成下列工作：

- (1) 计算在 760℃ 和 870℃ 温度下保温 1 小时晶粒的晶粒度及其长大值。
- (2) 说明在这两个温度下晶粒长大的特点以及工程上的应用。

(计算时可采用公式 $D^n - D_0^n = ct$ ，760℃ 和 870℃ 下，常数 c 分别为 6×10^{-16} 和 2×10^{-8} ， n 分别为 0.1 和 0.2， D 和 D_0 为晶粒度，单位为 mm， t 是时间，单位为 min)。

四、完成下列各题（每题 15 分，共 30 分）

1. 以晶格常数为单位，计算 BCC、FCC 及 HCP 晶体结构中的原子直径分别为多少。

2. 试在六方晶系的完整晶胞上画出 (10 $\bar{1}2$) 晶面的交线，画出 [11 $\bar{2}0$]、 $[\bar{1}101]$ 晶向交线，并列 {10 $\bar{1}2$ } 晶面族中所有晶面的米勒指数。

五、完成下列各题（每题 10 分，共 40 分）

1. 画出按组织分区的 Fe-Fe₃C 的平衡相图，并填写相区和组织分区。
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. 绘图说明含 0.15% C 铁-碳合金平衡冷却到室温时的相变过程和组织示意图，并计算各个相的相对含量。

六、完成下列各题（每题 15 分，共 30 分）

1. 试作出低碳钢退火试样的静拉伸曲线，说明转折点的物理变化，并用位错理论来说明拉伸曲线的变化机制。
2. 试用相律说明为什么三元合金可以出现四相平衡，三元平衡相图的水平截面可以使用杠杆定律来分析各个相的相对含量，而垂直截面却不能。

标准答案

一、

1. 晶胞原子数：在晶体的空间结构中，一个晶胞要与 26 个其他晶胞相邻接，故晶胞中 8 个顶角、12 个棱边和 6 个侧面上的原子都要与其他晶胞共有，只有晶胞内的原子才全部属于本晶胞。我们把与其他晶胞共有原子的份额和真正属于本晶胞的原子数之和，称之为晶胞原子数。

2. 间隙化合物：小尺寸的溶质原子，如 C、H、O、N 等分布在溶剂原子结构的间隙之中，改变了溶剂原子的晶体结构，且其成分大体上可用一个化学分子式表示的相，就称之为间隙化合物。

3. 柯肯达尔效应：在黄铜块体材料上缠上数圈细钼丝作为标记线，再镀上一层较厚的纯铜，而后放在高温退火炉中进行长时间退火，数周后发现标记线向黄铜一侧移动了一定的距离。这个试验结果就称之为柯肯达尔效应。

4. 过冷度：在较快的冷却速度下，金属材料冷到其熔点温度时并不立即凝固，而是要冷到更低的温度时才开始凝固。这时，实际凝固温度与熔点温度的差值就称之为过冷度。

5. 应变时效：第一次拉伸后，再立即进行第二次拉伸，拉伸曲线上不出现屈服阶段。但第一次拉伸后的低碳钢试样在室温下放置一段时间后，再进行第二次拉伸，则拉伸曲线上又会出现屈服阶段。不过，再次屈服的强度要高于初次屈服的强度。这个试验现象就称之为应变时效。

二、

1. 错！奥氏体是碳在具有面心立方结构 γ -Fe 中的固溶体，而珠光体是由铁素体和渗碳体组合而成的两相组织。

2. 错! 刃型位错的柏氏矢量与位错线方向矢量垂直; 螺型位错的柏氏矢量与位错线方向矢量平行。

3. 错! 确切地说法是溶质原子的扩散总是由化学位高的部位向化学位低的部位进行。只有这样, 才能圆满地解释反应扩散的驱动力问题。

4. 错! 铁-碳相图中发生共析的水平线表示的是三相平衡反应, 实际上就是三相区。这样, 与水平线上下的两相区的相数差仍然为 1, 仍然符合相区接触法则。

5. 错! 马氏体相变属于无扩散性固态相变, 而贝氏体相变既有无扩散性的切变过程, 又有扩散性的原子传输过程, 两者是不一样的。

三、

1. 纯铜晶体具有面心立方结构, 铜晶体的一个晶胞如图 34-1 所示, 其原子半径为 $\frac{\sqrt{2}}{4}a$ 。

$$(1) (001) \text{ 的原子密度} = \frac{2\pi\left(\frac{\sqrt{2}}{4}a\right)^2}{a^2} = \frac{\pi}{4} = 0.785$$

$$(110) \text{ 的原子密度} = \frac{2\pi\left(\frac{\sqrt{2}}{4}a\right)^2}{\sqrt{2}aa} = \frac{2\pi}{8\sqrt{2}} = 0.56$$

$$(111) \text{ 的原子密度} = \frac{2\pi\left(\frac{\sqrt{2}}{4}a\right)^2}{\frac{1}{2}\sqrt{2}a \sqrt{2}a \sin 60^\circ} = \frac{2\pi \frac{1}{8}a^2}{\frac{\sqrt{3}}{2}a^2} = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} = 0.91$$

可见, (001)、(110)、(111) 三个晶面中, (111) 面的原子密度最高, 是滑移面; (001) 面次之; (110) 面最低。

$$(2) [001] \text{ 晶向的原子密度} = \frac{2 \times \frac{\sqrt{2}}{4}a}{a} = \frac{\sqrt{2}}{2} = 0.707$$

$$[110] \text{ 晶向的原子密度} = \frac{2 \times \frac{\sqrt{2}}{4}a \times 2}{\sqrt{2}a} = 1$$

$$[111] \text{ 晶向的原子密度} = \frac{2 \times \frac{\sqrt{2}}{4}a}{\sqrt{3}a} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{2}{3}} = 0.41$$

可见, [001]、[110]、[111] 三个晶向的原子密度 [110] 最高, 是滑移方

向; $[001]$ 次之; $[111]$ 最低。由此可见, 滑移系由密排面和密排方向构成。

(3) 见图 34-1。

2.

(1) 760°C 保温 1h 时:

$$D_0^{\frac{1}{0.1}} - D_0^{\frac{1}{0.1}} = 6 \times 10^{-16} \times 60$$

$$D^{10} - D_0^{10} = 3.6 \times 10^{-14}$$

$$\begin{aligned} D^{10} &= 3.6 \times 10^{-14} + D_0^{10} = 0.05^{10} + 3.6 \times 10^{-14} \\ &= 9.77 \times 10^{-14} + 3.6 \times 10^{-14} \\ &= 13.4 \times 10^{-14} \end{aligned}$$

$$D = (13.4 \times 10^{-14})^{\frac{1}{10}} = 5.16 \times 10^{-2}$$

$$\text{mm} = 0.0516 \text{mm}$$

870°C 保温 1h 时:

$$D_0^{\frac{1}{0.2}} - D_0^{\frac{1}{0.2}} = 2 \times 10^{-8} \times 60$$

$$D^5 - D_0^5 = 1.2 \times 10^{-6}$$

$$D^5 = 0.05^5 + 1.2 \times 10^{-6} = 3.125 \times 10^{-7} + 12 \times 10^{-7} = 15.13 \times 10^{-7}$$

$$D = (15.13 \times 10^{-7})^{\frac{1}{5}} \text{mm} = 0.069 \text{mm}.$$

(2) 760°C 保温 1h 时, 晶粒只长大为 0.0516mm 。 0.0516mm 与 0.05mm 相比, 说明在此情况下, 变化不大, 晶粒基本上没有长大。而 870°C 保温 1h 时, 晶粒长大为 0.069mm 。 0.069mm 与 0.05mm 相比, 晶粒长大了 37%, 说明在此情况下, 出现了明显长大。所以, 在比较高的温度下加热, 特别要注意晶粒长大。

四、完成下列各题 (每题 15 分, 共 30 分)

1. BCC 结构的密排方向为 $[111]$, 在单位晶胞中, $[111]$ 方向上有两个原子

子, 故原子直径为 $\frac{\sqrt{3}}{2}a$; FCC 结构的密排方向为 $[110]$, 在单位晶胞中, $[110]$ 方向上也有两个原子, 故原子直径为 $\frac{\sqrt{2}}{2}a$; HCP 结构的密排方向为 $[11\bar{2}0]$, 在此方向上, 排有一个原子, 故原子直径就为 a 。

2. $(10\bar{1}2)$ 晶面与六方晶系的完整晶胞的交线如图 34-2 所示, 其中画影线的晶面就是 $(10\bar{1}2)$ 面, 它与晶胞的交线为 $ABCDEF$ 。

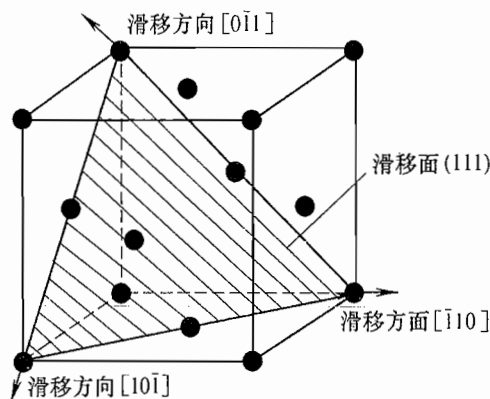


图 34-1 第三题第 1 小题解答图

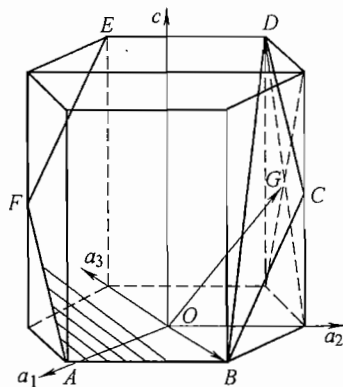


图 34-2 第四题第 2 小题解答图

图中 OB 即为 $[11\bar{2}0]$, $[\bar{1}101]$ 如图中 OG 所示。

$\{10\bar{1}2\}$ 晶面族包括有 $(10\bar{1}2)$ 、 $(\bar{1}012)$ 、 $(0\bar{1}12)$ 、 $(01\bar{1}2)$ 、 $(1\bar{1}02)$ 以及 $(\bar{1}102)$ 六个面。

五、

1. 略。

2. 相图中有五个单相区、七个两相区、三个三相平衡反应。

3. 包晶转变线 HJB (1495°C): $L_B + \delta_H \rightarrow \gamma_J$, 即 B 点成分的 L 相与 H 点成分的 δ 相, 在 1495°C 反应生成 J 点成分的 γ 相。

共晶转变线 ECF (1148°C): $L_C \rightarrow \gamma_E + \text{Fe}_3\text{C}$, 即 C 点成分的液相在 1148°C 反应生成了由 E 点成分的 γ 相和 Fe_3C 组成的莱氏体。

共析转变线 PSK (727°C): $\gamma_S \rightarrow \alpha_P + \text{Fe}_3\text{C}$, 即 S 点成分的 γ 相在 727°C 反应生成了由 P 点成分的 α 相和 Fe_3C 组成的珠光体。

4. 含 0.15% C 铁-碳合金平衡冷却到室温时的相变过程和组织示意图如图 34-3 所示。

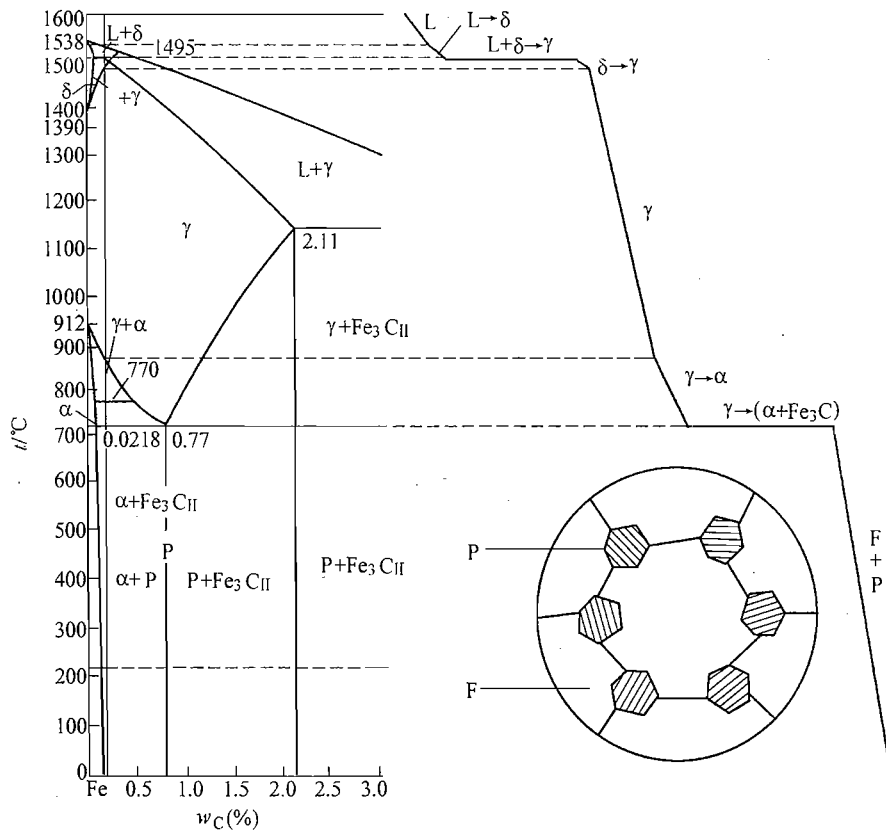


图 34-3 第五题第 4 小题解答图

含 0.15% C 铁-碳合金平衡冷却到室温后, 组织中只有两个相, 即 α 相和渗碳体 Fe_3C 相, 其分别为:

$$\alpha \text{ 相的相对含量} = \frac{6.69 - 0.15}{6.69} \times 100\% = 97.8\%$$

$$\text{渗碳体 } \text{Fe}_3\text{C} \text{ 相的相对含量} = 1 - 97.8\% = 2.2\%$$

六、

1. 低碳钢退火试样的静拉伸曲线示意于图 34-4。曲线上最明显的特点是出现上下屈服点, 这可以用位错理论中的柯氏气团来解释。试样静拉伸时, 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, 对位错线起着钉扎作用, 故形变材料要在较高的应力下位错线才能脱钉而开始运动, 当位错线脱钉时应力会突然有所下降, 于是就出现了上屈服点。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, 于是就出现了下屈服点。

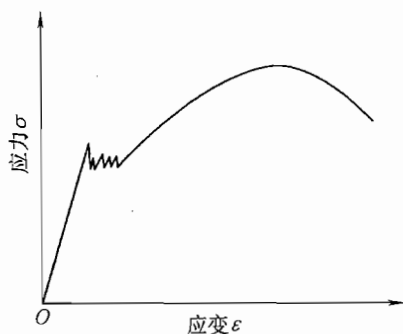


图 34-4 第六题第 1 小题解答图

2. 相律公式是 $f = c - p + 1$, 式中 f 、 c 、 p 分别表示自由度、成分数和相数。对于三元合金来说, 当 f 为最小值 0 时, 相数 p 为 4, 说明可以出现四相平衡。但这时自由度 f 为 0, 表示各个相成分以及温度都是确定的, 故三元平衡相图的水平截面 (即四相平衡面) 可以使用杠杆定律来分析各个相的相对含量。但是, 三元平衡相图的垂直截面是一个伪二元相图, 在此垂直截面上, 无法确定平衡相的成分点。因此, 三元平衡相图的垂直截面上是不能使用杠杆定律进行各个相相对含量计算的。

24

考试
适用

散

(5)

dΔG
意味

表明

位错

系。

单位

西安理工大学

试卷三十五

2002 年攻读硕士学位研究生入学考试试题(一)

考试科目: 材料科学基础 (一)

适用专业: 材料科学与工程

一、名词解释 (7×2 分)

1. 致密度 2. 相 3. 固溶体 4. 离异共晶 5. 平衡分配系数 6. 反应扩散 7. 固溶强化。

二、填空 (25×1 分)

1. 典型金属的晶体结构类型有 (1)、(2) 和 (3), 其配位数相应为 (4)、(5) 和 (6)。

2. 置换固溶体的溶解度与原子尺寸因素、(7)、电子浓度因素和 (8) 有关。

3. 当过冷液体中出现一个晶胚时, 总的自由能变化 ΔG 可写为 (9), 当 $d\Delta G/dr=0$ 时, 所得的 r^* 值称为 (10), 其大小决定于 (11) 和 (12), r^* 变小意味着形核数目 (13)。

4. 根据相律三元系最大平衡相数为 (14), 此时自由度为 (15), 在相图上表现为 (16)。

5. 位错在滑移面上的运动称为 (17), 作垂直滑移面的运动称为 (18)。螺位错不能进行 (19)。

6. 面心立方金属的滑移面是 (20), 滑移方向是 (21), 可组成 (22) 个滑移系。

7. 扩散第一定律适用于稳态扩散, 其数学表达式可写成 (23)。扩散通量的单位是 (24), 符号为 (25), 表示扩散由高浓度向低浓度方向进行。

三、简答题 (5×5 分)

1. 结晶、重结晶和再结晶三者概念上有何区别?

2. 何谓成分过冷? 成分过冷对晶体生长形态有何影响?

3. 试说明多晶体金属塑性变形时, 晶粒越小强度越高、塑性越好的原因。

4. 简述固溶体合金与纯金属在结晶过程中的区别。
5. 分析回复与再结晶阶段空位与位错的变化及其对性能的影响。

四、一个直径为 1mm 的圆柱形面心立方单晶体，拉伸轴的取向与晶体的 [001] 方向一致。

1. 试确定其等效滑移系。
2. 若屈服时的拉力为 0.5N，求滑移系的分切应力各是多少（8 分）

五、默画 Fe-Fe₃C 相图，填写相区，并回答：（20 分）

1. 奥氏体、铁素体、渗碳体各为何种结构？
2. 分别由亚共析钢和过共析钢制成的两个试样，经组织分析确认其珠光体量约为 80%，试确定两种钢含碳量，并回答两种钢中共析渗碳体量是否相等，为什么？

3. 分析共晶白口铁的结晶过程，并用杠杆定理计算变态莱氏体中组织组成物的相对含量。

六、图 35-1 为固态下互不溶解简单三元相图投影图，请完成下列各题。

1. 分析 P、M、N 三个合金的结晶过程，写出平衡组织。
2. 说明 P 合金的组织相对含量及相的相对含量的算法，并写出其值。（所需的辅助线自行补充标注）（8 分）

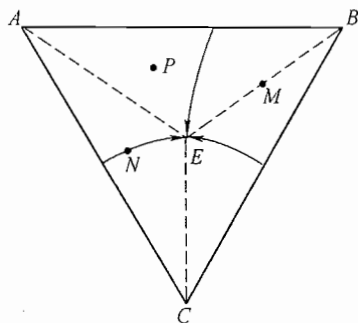


图 35-1 第六题图

标准答案

一、

1. 致密度：表示晶胞中原子所占的体积与晶胞体积的比值，是衡量原子排列紧密程度的参数，致密度越大，晶体中原子排列越紧密，晶体结构越致密。

2. 相：合金中具有同一聚集状态、同一晶体结构、成分基本相同，并有明确界面与其他部分相分开的均匀组成部分。

质)
有其

组织
一起

一定
溶质

随着
溶体
散而

变，
的阻
塑性

结核
比表
(19)
cm²

把液

固态

新产
此

晶体

3. 固溶体：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晶格类型，结点上或间隙中含有其他组元原子。

4. 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。

5. 平衡分配系数：固溶体合金在结晶过程中具有选分结晶的特点。因此在一定温度下平衡时，固相成分与液相成分之比称为平衡分配系数。该参数反映了溶质在固液两相中的分配系数及溶质对合金熔点的影响程度。

6. 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饱和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。

7. 固溶强化：当形成固溶体后，溶剂晶格中因溶有溶质原子而产生晶格畸变，溶质原子的应力场会与位错产生交互作用而阻碍位错运动，增大了位错运动的阻力，使得临界分切应力远比纯金属大，滑移系开动比纯金属困难，使材料的塑性变形抗力提高，硬度、强度上升，而塑性、韧性下降的现象称为固溶强化。

二、

(1) fcc; (2) bcc; (3) hcp; (4) 12; (5) 8; (6) 12; (7) 电负性; (8) 晶体结构; (9) $\Delta G = \Delta G_V \frac{4}{3} \pi r^3 + \sigma 4 \pi r^2$; (10) 临界晶核半径; (11) 过冷度; (12) 比表面能; (13) 增多; (14) 4; (15) 零; (16) 平面; (17) 滑移; (18) 攀移; (19) 攀移; (20) $\{111\}$; (21) $\langle 110 \rangle$; (22) 12; (23) $J = -Ddc/dx$; (24) $1/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$; (25) 负号。

三、

1.

结晶——金属由液态转变为固态的过程称为凝固，由于固态金属是晶体故又把凝固称为结晶。

重结晶——指在固态状态下，物质由一种结构转变成另一种结构，这是一种固态相变过程。

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、性能恢复到冷压力加工前的软化状态的过程。在此过程中，仍然属于固态过程。

三者的区别与联系：结晶、重结晶发生相变过程，再结晶没有；结晶、重结晶和再结晶都是形核与长大的过程。发生结晶与重结晶的驱动力为反应相与生成

相的自由能差,再结晶为储存能。再结晶后强度、硬度下降而塑韧性提高,而重结晶则属于同素异构转变。

2. 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熔点与实际温度分布两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。

固溶体结晶时,由于出现成分过冷对晶体生长的形态有很大影响,即使在正温度梯度下也会生成出胞状组织甚至出现树枝晶。即无成分过冷时,界面呈平直状向前推移;较小成分过冷时,界面呈胞状;较大成分过冷时,界面呈树枝状。

3. 多晶体金属塑性变形时,晶粒越小强度越高,塑性越好的原因是:由于晶粒细小,各晶粒中可供塞积位错的滑移面较短,塞积位错的数量 n 也少,由位错塞积引起的应力集中小而分散,迫使相邻晶粒位错源开动就较为困难,故屈服强度较高。晶粒细小而数目很多,在相同外力作用下,处于滑移有利方位的晶粒数量也会增多,使众多的晶粒参加滑移,滑移量分散在各个晶粒中,应力集中小,这样在金属变形时引起开裂的机会小,直至断裂之前,能获得较大的塑性变形量。

4. 纯金属在结晶时其界面是粗糙的,在正温度梯度下进行长大。由于晶体长大时通过固相模壁散热,固液界面是等温的,若取得动态过冷度界面就向前移动。如果面局部有小的凸起伸向过热的液相中,小凸起将被熔化,界面一直保持平直,晶体以平面状长大。

固溶体结晶时会出现成分过冷,在固液界面前出现成分过冷区,此时界面如有任一小的凸起它将伸入成分过冷区而获得过冷就能继续生长下去。界面不能保持平直稳定,会出现树枝晶。

5. 在低温回复阶段,主要表现为空位的消失。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,使得空位数量急剧减少。

在中温回复阶段,温度升高,使位错容易滑移,同一滑移面上的异号位错相遇会相互吸引而抵消,不但使亚晶内部的位错数目减少,而且胞壁缠结位错的减少更为显著,重新调整排列规则,胞壁变得明晰,形成回复亚晶。即该阶段主要表现为位错的滑移,导致位错重新结合,异号位错的汇聚而抵消以及亚晶的长大。

在高温回复阶段,位错运动的动力学条件更为充分,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,即多边形化的过程。多边形化构成的位错墙即是小角度晶界,它将原晶粒分隔成若干个亚晶粒。

与力
为8
[10]

光体

延长

四、

1. 当晶体为 FCC 时, 力轴为 $[001]$ 方向, 那么 12 个滑移系中 $[110]$ 晶向与力轴垂直, 而其余与力轴夹角相等, 4 个滑移系也与之相等。所以等效滑移系为 8 个。即 $(111) [\bar{1}01]$ 、 $(111) [011]$ 、 $(\bar{1}11) [101]$ 、 $(\bar{1}11) [011]$ 、 $(1\bar{1}1) [10\bar{1}]$ 、 $(1\bar{1}1) [011]$ 、 $(11\bar{1}) [011]$ 、 $(11\bar{1}) [101]$

2. 因为

$$\Omega = \cos\lambda \cos\phi = \frac{\sqrt{2}}{2} \times \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{6}}{6}$$

所以

$$\tau = \frac{P}{A} \Omega = \frac{0.5}{\pi \left(\frac{1}{2}\right)^2} \times \frac{\sqrt{6}}{6} \text{MPa} = 0.26 \text{MPa}$$

五、相图略。

1.

奥氏体: 碳在 $\gamma\text{-Fe}$ 中的间隙固溶体, 为面心立方结构。

渗碳体: 铁和碳形成的间隙化合物, 属于正交系。

铁素体: 碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的间隙固溶体, 为体心立方结构。

2. 两种钢中共析渗碳体量相等。因为共析渗碳体只存在于珠光体中, 而珠光体量相等, 因此两种钢中共析渗碳体量是相等的。

设亚共析钢含碳量为 $x\%$, 过共析钢含碳量为 $y\%$, 则

$$\frac{x - 0.0218}{0.77 - 0.0218} \% = 80\% \quad x = 0.62\%$$

$$\frac{6.69 - y}{6.69 - 0.77} \% = 80\% \quad y = 1.95\%$$

3. 结晶过程略。

室温组织为 $P + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{共晶}} + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$, 其中

$$\text{Fe}_3\text{C}_{\text{共晶}} \% = \frac{EC}{EF} = \frac{4.3 - 2.11}{6.69 - 2.11} \times 100\% \approx 47.82\%$$

$$\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}} \% = \frac{CFSE}{EFSK} = \frac{6.69 - 4.3}{6.69 - 2.11} \times \frac{2.11 - 0.77}{6.69 - 0.77} \times 100\% \approx 11.81\%$$

$$P\% = \frac{CFFE}{EFSK} = \frac{6.69 - 4.3}{6.69 - 2.11} \times \frac{6.69 - 2.11}{6.69 - 0.77} \times 100\% \approx 40.37\%$$

六、

1. 结晶过程略。

作辅助线: 如图 35-2 所示, 延长 AP , 交液相线于 O 点, 交 BC 线于 Y 点, 延长 EO 与 AB 交于 X 点。

P 点平衡组织为: $A + (A + B) + (A + B + C)$

N 点平衡组织为: $(A + C) + (A + B + C)$

M 点平衡组织为: $B + (A + B + C)$

2. 组织相对含量: $A_{\text{初晶}}\% = OP/AO \times 100\%$

$$(A + B)\% = OE/XE \times AP/AO \times 100\%$$

$$(A + B + C)\% = 1 - A_{\text{初晶}}\% - (A + B)\%$$

相的相对含量: $A\% = PY/AY \times 100\%$

$$B\% = (AP/AY) \times (CY/CB) \times 100\%$$

$$C\% = (AP/AY) \times (BY/CB) \times 100\%$$

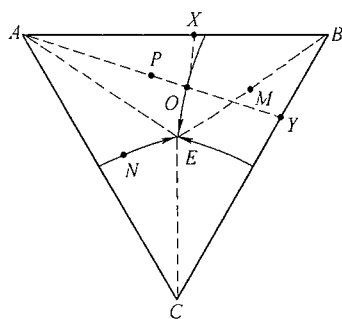


图 35-2 第六题解答图

试卷三十六

2002 年攻读硕士学位研究生入学考试试题(二)

考试科目：材料科学基础（二）

适用专业：材料成形与控制

一、名词解释（7×3 分）

1. 致密度 2. 相 3. 固溶体 4. 离异共晶

5. 退火 6. 淬透性 7. 平衡分配系数

二、填空（30×1 分）

1. 金属典型的晶体结构类型有（1）、（2）和（3），其配位数相应为（4）、（5）和（6）。

2. 溶质原子半径与溶剂原子半径相近的可形成（7）固溶体，两者半径相差较大时是（8）固溶体，铁素体是一种（9）固溶体。

3. 奥氏体形核时不仅需要（10）起伏、（11）起伏，此外还需要（12）起伏。

4. 晶体固液界面分为光滑界面和粗糙界面，按照长大速度由慢到快其长大方式依次为（13）、（14）和（15）。

5. 面心立方金属的滑移面是（16），滑移方向是（17），可组成（18）个滑移系。

6. 马氏体是碳在（19）中的过饱和固溶体，淬火钢中马氏体的金相形态有两种，它们是（20）和（21）。

7. 位错的两种基本类型为（22）和（23），其中刃型位错的位错线方向与柏氏矢量的关系为（24）。

8. 马氏体型不锈钢的典型钢号是（25），奥氏体不锈钢的典型钢号是（26），铁素体不锈钢是（27）。

9. 上坡扩散是指扩散原子从（28）向（29）的扩散，产生上坡扩散的原因是合金系中存在着（30）。

三、简答题（5×10 分）

1. 何为加工硬化？如何解决加工硬化给后续加工带来的困难？

2. 论述纯金属与固溶体合金在凝固过程中表现出的异同点，并解释其原因？

3. 说明第一类和第二类回火脆性的异同点。

4. 分析回复与再结晶阶段空位与位错的变化及其对性能的影响。

5. 有如图 36-1 所示的一个位错环。分析位错环各点上位错的属性, 并综合论述刃型位错和螺型位错的异同点。

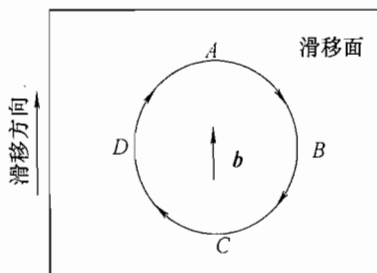


图 36-1 第三题第 5 小题图

四、计算 (12 分)

铜单晶体拉伸时, 若力轴为 $[001]$ 方向, 临界分切应力为 0.64MPa , 问多大的拉伸应力能使晶体开始滑移?

五、默画 Fe-Fe₃C 相图, 填写相区, 并回答: (25 分)

1. 说明 CD 线、 ECF 线、 ES 线、 GS 线、 PSK 线和 HJB 线的名称和物理意义。
2. 分析 45 钢比 T8 钢硬度低的原因。
3. 简述钢与白口铁在化学成分、显微组织和机械性能方面的主要差别。
4. 分析共晶白口铁的结晶过程, 并用杠杆定理计算变态莱氏体中组织组成物的相对含量。

六、图 36-2 为固态下互不溶解简单三元相图投影图, 请完成下列各项。(12 分)

1. 分析 P 、 M 、 N 三个合金的结晶过程, 写出平衡组织。
2. 说明 P 合金的组织相对含量及相的相对含量的算法, 并写出其值。(所需的辅助线自行补充标注)

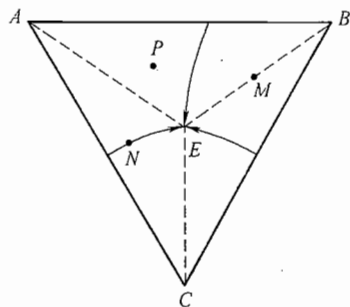


图 36-2 第六题图

标准答案

一、

1. 致密度: 表示晶胞中原子所占的体积与晶胞体积的比值, 是衡量原子排列紧密程度的参数, 致密度越大, 晶体中原子排列越紧密, 晶体结构越致密。

2. 相: 合金中具有同一聚集状态、同一晶体结构、成分基本相同, 并有明确界面与其他部分相分开的均匀组成部分。

3. 固溶体: 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晶格类型, 结点上或间隙中含有其他组元原子。

4. 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。

5. 退火: 将金属及其合金加热至相变温度以上, 保温一段时间, 然后以较为缓慢的速度冷却, 以获得近于平衡组织的热处理工艺称为退火。

6. 淬透性: 是钢在淬火时能获得马氏体组织的倾向(即钢被淬透的能力)。

7. 平衡分配系数: 固溶体合金在结晶过程中具有选分结晶的特点, 因此固相成分与液相成分存在一定的比例, 当一定温度下平衡时, 固相成分与液相成分比称为平衡分配系数, 其反映了溶质在固液两相中的分配系数及溶质对合金熔点的影响程度。

二、

(1) FCC; (2) BCC; (3) HCP; (4) 12; (5) 8; (6) 12; (7) 置换; (8) 间隙; (9) 间隙; (10) 结构; (11) 能量; (12) 成分; (13) 二维晶核长大; (14) 晶体缺陷长大; (15) 垂直长大; (16) $\{111\}$; (17) $\langle 110 \rangle$; (18) 12; (19) α -Fe; (20) 板条马氏体; (21) 针状马氏体; (22) 刃型位错; (23) 螺型位错; (24) 垂直; (25) 1Cr13; (26) 1Cr18Ni9Ti; (27) 1Cr17; (28) 低浓度; (29) 高浓度; (30) 化学位梯度。

三、

1. 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, 位错之间相互交截、反应使得位错的运动变得困难。可以用再结晶退火处理消除加工硬化给后续加工带来的困难。

2. 纯金属在结晶时其界面是粗糙的, 在正温度梯度下进行长大。由于晶体长大时通过固相模壁散热, 固液界面是等温的, 若取得动态过冷度界面就向前移

动。如果面局部有小的凸起伸向过热的液相中,小凸起将被熔化,界面一直保持平直,晶体以平面状长大。

固溶体结晶时会出现成分过冷,在固液界面前出现成分过冷区,此时界面如有任一小的凸起,它将伸入成分过冷区而获得过冷就能继续生长下去。界面不能保持平直稳定而出现树枝晶。

3. 在 250~400℃ 间回火时出现的脆性叫低温回火脆性,也称第一类回火脆性;在 450~650℃ 间回火时出现的脆性称高温回火脆性,也称第二类回火脆性。第一类回火脆性为不可逆的回火脆性,第二类回火脆性为可逆的。第一类回火脆性是由于马氏体分解时沿马氏体条或片的界面析出断续的薄壳状碳化物,降低了晶界的断裂强度,使之成为裂纹扩展的路径,因而导致脆性断裂;第二类回火脆性产生的原因是 Sb、Sn、P、As 等杂质元素在回火处理时向原奥氏体晶界偏聚,减弱了奥氏体晶界上原子间的结合力,降低晶界断裂强度是产生第二类回火脆性的主要原因。

4. 在低温回复阶段,主要表现为空位的消失。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,使得空位数量急剧减少。

在中温回复阶段,温度升高,使位错容易滑移,同一滑移面上的异号位错相遇会相互吸引而抵消,不但使亚晶内部的位错数目减少,而且胞壁缠结位错的减少更为显著,重新调整排列规则,胞壁变得明晰,形成回复亚晶。即该阶段主要表现为位错的滑移,导致位错重新结合,异号位错的汇聚而抵消以及亚晶的长大。

在高温回复阶段,位错运动的动力学条件更为充分,有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,即多边形化的过程。多边形化构成的位错墙即是小角度晶界,它将原晶粒分隔成若干个亚晶粒。

5. A: 正刃; C: 负刃; B: 左螺; D: 右螺。

刃型位错和螺型位错的异同点: ①刃型位错位错线垂直于柏氏矢量,螺型位错位错线平行于柏氏矢量; ②刃型位错柏氏矢量平行于滑移运动方向,螺型位错柏氏矢量垂直于滑移运动方向; ③刃型位错可作滑移也可作攀移运动且只有一个滑移面,螺型位错只可作滑移运动但有无数个滑移面; ④两者都可用柏氏矢量表示。

四、因为铜是面心立方所以滑移面是 $\{111\}$, 滑移方向是 $\langle 110 \rangle$, 又因为力轴为 $\{001\}$, 所以排除掉滑移方向为 $[110]$ 和 $[\bar{1}10]$ 的 4 个, 还有八个等效滑移系。

T8 4

体,

于

$$\lambda = 45^\circ \quad \cos \lambda = \cos 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\cos \phi = \frac{11 \times 0 + 1 \times 0 + 1 \times 0}{\sqrt{1^2 + 1^2 + 1^2} \times \sqrt{0^2 + 0^2 + 1^2}} = \frac{\sqrt{3}}{3}$$

$$\sigma = \frac{\tau}{\Omega} = \frac{0.64}{\cos \lambda \cos \phi} = 1.57 \text{ MPa}$$

五、相图略。

1.

CD ——液相线。

ECF ——共晶转变线。

ES ——C在A中饱和溶解度曲线。

GS ——A中开始析出F转变线。

PSK ——共析转变线。

HJB ——包晶转变线。

2. 因为铁碳合金的硬度仅和其含碳量有关，T8钢的含碳量比45钢高，所以T8钢比45钢的硬度高。

3. 钢的含碳量小于2.11%，铁的含碳量大于2.11%；钢的基本组织是珠光体，白口铸铁的基本组织是莱氏体；钢强韧性好，白口铸铁较脆，硬度高。

4. 结晶过程略。

室温组织为 $P + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{共晶}} + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$ ，其中

$$\text{Fe}_3\text{C}_{\text{共晶}} \% = \frac{EC}{EF} = \frac{4.3 - 2.11}{6.69 - 2.11} \times 100\% \approx 47.82\%$$

$$\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}} \% = \frac{CFSE}{EF SK} = \frac{6.69 - 4.3}{6.69 - 2.11} \times \frac{2.11 - 0.77}{6.69 - 0.77} \times 100\% \approx 11.81\%$$

$$P \% = \frac{CF FE}{EF SK} = \frac{6.69 - 4.3}{6.69 - 2.11} \times \frac{6.69 - 2.11}{6.69 - 0.77} \times 100\% \approx 40.37\%$$

六、

1. 结晶过程略。

作辅助线：如图36-3所示，延长 AP ，交液相线于 O 点；延长 EO 与 AB 交于 X 点。

P 点平衡组织为： $A + (A + B) + (A + B + C)$

N 点平衡组织为： $(A + C) + (A + B + C)$

M 点平衡组织为： $B + (A + B + C)$

2. 组织相对含量： $A_{\text{初晶}} \% = OP/AO \times 100\%$

$$(A + B) \% = OE/XE \times AP/AO \times 100\%$$

$$(A + B + C)\% = 1 - A_{\text{初晶}}\% - (A + B)\%$$

相的相对含量: $A\% = PY / AY \times 100\%$

$$B\% = (AP / AY) \times (CY / CB) \times 100\%$$

$$C\% = (AP / AY) \times (BY / CB) \times 100\%$$

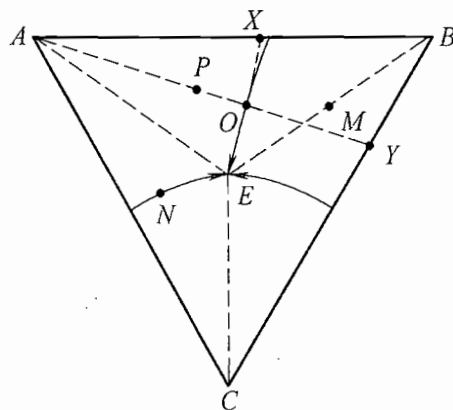


图 36-3 第六题解答图

考试
适用

(5)

(9)

(11)

(15)

而

图

么

晶

中

试卷三十七

2003 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料科学与工程、材料成形与控制

一、填空 (20×2 分)

1. 金属典型的晶体结构有 (1)、(2) 和 (3)，相应的晶胞原子数为 (4)、(5) 和 (6)。
2. 刃型位错既可以作 (7) 运动，又可以作 (8) 运动；而螺型位错只能作 (9) 运动，因为它没有固定的 (10)。
3. 在均匀形核时，设晶核的形状为边长是 a 的立方体，则临界晶核边长为 (11)，临界形核功为 (12)。(已知 σ 和 ΔG_V)
4. 固溶体结晶过程中，形核时既需要 (13) 起伏和 (14) 起伏，又需要 (15) 起伏。
5. 晶体拉伸滑移时，驱使滑移面转动，使滑移面力求转向与 (16) 平行，而同时滑移方向也旋转向与 (17) 方向重合。
6. 多晶体塑性变形的特点是 (18) 性、(19) 性和 (20) 性。

二、名词解释 (5×5 分)

1. 柏氏矢量 2. 相 3. 成分过冷 4. 离异共晶 5. 固溶强化

三、简答题 (5×8 分)

1. 柏氏矢量与刃型位错及螺型位错的位错线间存在什么位向关系？请分析图 37-1 所示位错圆环各部分位错的类型。

2. 何谓平衡分配系数？其物理意义是什么？

3. 为什么金属滑移在最密排面与最密排晶向上进行？

4. 再结晶与二次再结晶的本质区别？

5. 为什么渗碳选择 930℃ 附近的 γ -Fe 中？

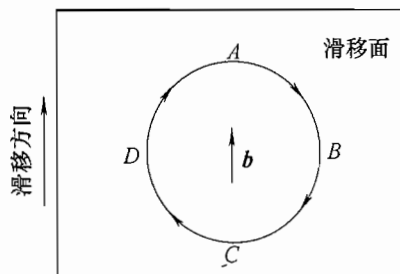


图 37-1 第三题第 1 小题图

四、默画 Fe-Fe₃C 相图并填写相区。(10 分) 然后回答下列问题：

1. 注出 P 、 S 、 E 、 C 各点的成分, 说明各点的物理意义。(4 分)
2. 说明相图中三条水平线上各发生什么转变, 写出反应式, 并指出什么是珠光体, 什么是莱氏体?(6 分)
3. 分析含碳量为 3% 的亚共晶白口铁的结晶过程, 画出冷却曲线, 并用杠杆定律计算室温下组织组成物和相组成物的相对含量。(10 分)

五、图 37-2 为固态时相互完全不溶解的三元共晶相图的投影图。(15 分)

1. 绘出图上 cd 变温截面;
2. 分析合金 x 的结晶过程, 写出室温组织, 并计算组织组成物和相组成物的相对含量。(根据需要自己作辅助线)

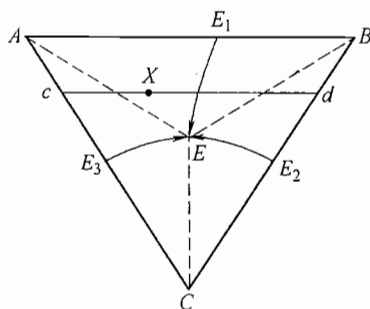


图 37-2 第五题图

标准答案

一、

- (1) 体心立方; (2) 面心立方; (3) 密排六方; (4) 2; (5) 4; (6) 6; (7) 滑移; (8) 攀移; (9) 滑移; (10) 半原子面; (11) $\frac{-4\sigma}{\Delta G_V}$; (12) $\frac{32\sigma^3}{\Delta G_V^2}$; (13) 结构; (14) 能量; (15) 成分; (16) 力轴方向; (17) 最大分切应力; (18) 不等时; (19) 协调; (20) 不均匀。

二、

1. 柏氏矢量: 用来描述位错引起晶格畸变的物理量。该矢量的模是位错的强度, 表示晶格总畸变的大小, 其方向表示晶格点畸变的方向。一般情况下, 该矢量越大, 晶体畸变的程度越大。

2. 相: 合金中具有同一聚集状态、同一晶体结构、成分基本相同, 并有明确界面与其他部分相分开的均匀组成部分。

3. 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。

4. 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。

5. 固溶强化:当形成固溶体后,溶剂晶格中因溶有溶质原子而产生晶格畸变,溶质原子的应力场会与位错产生交互作用而阻碍位错运动,增大了位错运动的阻力,使得临界分切应力远比纯金属大,滑移系开动比纯金属困难,使材料的塑性变形抗力提高,硬度、强度上升,而塑性、韧性下降的现象称为固溶强化。

三、

1. A: 正刃; C: 负刃; B: 左螺; D: 右螺。

刃型位错线垂直于柏氏矢量,螺型位错线平行于柏氏矢量。

2. 平衡分配系数:固溶体合金在结晶过程中具有选分结晶的特点。因此在一定温度下平衡时,固相成分与液相成分之比称为平衡分配系数。该参数反映了溶质在固液两相中的分配系数及溶质对合金熔点的影响程度。

3. 金属晶体的滑移是在外力的作用下,于原子排列最紧密的晶面和晶向上进行的,这是因为在密排面上原子间距最小,结合力最强,而相邻的两个密排晶面之间距离却最大、结合力最弱。可知在原子排列最紧密的晶面之间进行滑移阻力最小,需要的外力也最小。于是原子排列最紧的晶面和晶向就成了晶体进行滑移的滑移面和滑移方向。

4. 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,性能恢复到冷压力加工前的软化状态的过程。

二次再结晶——指再结晶退火后的金属在更高温度或更长时间的保温下,会有极少数晶粒迅速吞并其他晶粒而长大,结果整个金属由少数比再结晶后晶粒大几十倍至几百倍的特大晶粒所组成的现象。

二者的本质区别:再结晶是形核与长大的过程,二次再结晶只是长大过程。发生再结晶的驱动力为储存能,二次再结晶为界面能。再结晶后强度、硬度下降而塑韧性提高,二次再结晶后材料的强度、塑韧性都会下降。

5. ①可形成较大的浓度梯度;② γ -Fe中含碳量增加则扩散系数增加;③高温下随温度升高,扩散系数增加,所以选择高温。但温度过高会使奥氏体晶粒显著长大。

四、相图略。

1. P: 碳在 α -Fe 中的最大溶解度。

S: 共析点。

E: 碳在 γ -Fe 中的最大溶解度。

C: 共晶点。

2. 包晶转变线 HJB $L_{0.53} + \delta_{0.09} \xrightarrow{1495^\circ\text{C}} \gamma_{0.17}$

共晶转变线 ECF $L_{4.3} \xrightarrow{1148^\circ\text{C}} (\gamma_{2.11} + \text{Fe}_3\text{C}_{6.69})$

共析转变线 PSK $\gamma_{0.77} \xrightarrow{727^\circ\text{C}} (\alpha_{0.0218} + \text{Fe}_3\text{C}_{6.69})$

铁素体和渗碳体的两相混合物称为珠光体。奥氏体与渗碳体的机械混合物称为莱氏体。

3. 冷却曲线如图 37-3 所示。

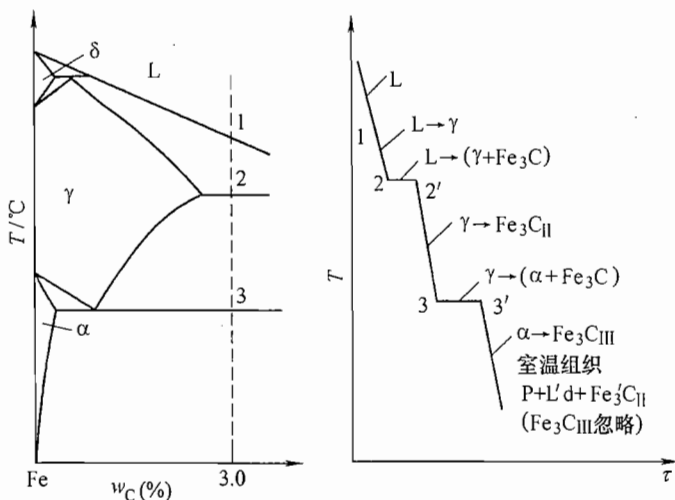


图 37-3 第四题第 3 小题解答图

含碳量为 3.0% 的亚共晶白口铁的结晶过程中, 与相图上各条曲线从上往下依次交于 1、2、3 点 (见图 37-3)。在 1—2 点之间按匀晶转变结晶出初晶 (或先共晶) 奥氏体, 奥氏体的成分沿 JE 线变化, 而液相的成分沿 ABC 线变化。当温度降至 2 点时, 液相成分到达共晶点 C , 于恒温 (1148°C) 下发生共晶转变, 即 $L_C \xrightarrow{1148^\circ\text{C}} L_d (\gamma_E + \text{Fe}_3\text{C}_F)$, 形成莱氏体。当温度冷却到 2—3 点温度区间时, 从初晶奥氏体和共晶奥氏体中析出二次渗碳体。随着二次渗碳体的析出, 奥氏体的成分沿着 ES 线不断降低, 当温度到达 3 点 (727°C) 时, 奥氏体的成分也到达了 S 点, 于恒温下发生共析转变, 即 $\gamma_S \xrightarrow{727^\circ\text{C}} P (\alpha_P + \text{Fe}_3\text{C}_K)$, 所有的奥氏体都转变为珠光体。所以最终的组织为: $P + \text{Fe}_3\text{C}_{II} + L'd$ 。

根据杠杆定律计算, 该合金的组织组成物中, 各占比例为:

$$L'd\% = L_C\% = \frac{E2}{EC} \times 100\% = \frac{3 - 2.11}{4.3 - 2.11} \times 100\% = 40.6\%$$

$$\gamma_E\% = (P + Fe_3C_{II})\% = \frac{2C}{EC} \times 100\% = \frac{4.3 - 3}{4.3 - 2.11} \times 100\% = 59.4\%$$

$$Fe_3C_{II}\% = \frac{2C}{EC} \times \frac{2.11 - 0.77}{6.69 - 0.77} \times 100\% = 13.4\%$$

$$P\% = \gamma_E\% - Fe_3C_{II}\% = 59.4\% - 13.4\% = 46\%$$

该合金的相组成由 $(F + Fe_3C)$ 组成, 其各占的比例为:

$$F\% = \frac{3K}{PK} = \frac{6.69 - 3.0}{6.69 - 0.0218} \times 100\% = 55\%$$

$$Fe_3C\% = \frac{P3}{PK} = \frac{3.0 - 0.0218}{6.69 - 0.0218} \times 100\% = 45\%$$

五、

1. 见图 37-4。

2. 作辅助线: 如图 37-5 所示, 延长 AX , 交 EE_1 线于 O 点, 交 BC 线于 P 点; 延长 EO 与 AB 交于 F 点, 连接 B 、 X 与 AC 交于 M 点, 连接 C 、 X 与 AB 交于 N 点。

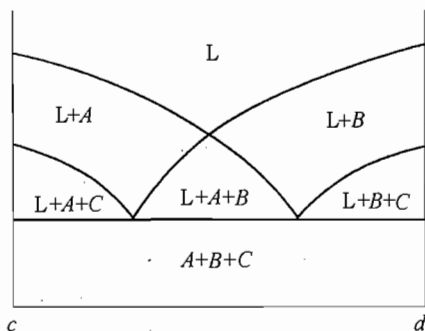


图 37-4 第五题第 1 小题解答图

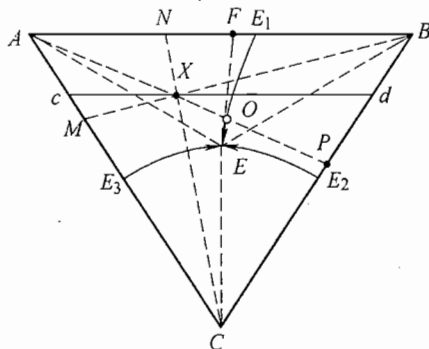


图 37-5 第五题第 2 小题解答图

合金 X 的结晶过程: 随着温度的降低合金冷却至与液相面 AE_1EE_3 相交, 液相中开始结晶出 A 相, 且液相成分沿 AX 延长线变化。随温度下降, 液相不断减少, A 不断增加, 但液相中 B 与 C 浓度比保持不变, 当液相成分变到 E_1E 线上的 O 点时, 开始发生三相共晶 $L \rightarrow A + B$ 反应。继续降温, 液相成分沿 E_1E 变到 E 点时, 发生四相共晶反应 $L_E \rightarrow A + B + C$, 液相全部耗尽, 合金 X 的室温组织为: $A_{\text{初晶}} + (A + B)_{\text{共晶}} + (A + B + C)_{\text{共晶}}$ 。

组织相对含量: $A_{\text{初晶}}\% = OX/AO \times 100\%$

$$(A+B)_{\text{共晶}}\% = OE/FE \times AX/AO \times 100\%$$

$$(A+B+C)_{\text{共晶}}\% = 1 - A_{\text{初晶}}\% - (A+B)_{\text{共晶}}\%$$

相的相对含量利用重心法则计算，具体步骤为：连接 AX 与 BC 交于 P 点，
即

$$A\% = PX/AP \times 100\%$$

$$B\% = MX/BM \times 100\%$$

$$C\% = NX/CN \times 100\%$$

考试
适用

列于

同。

新固

件的

一般

不可

原子
金属

设计
项目

试卷三十八

2004 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料科学与工程、材料成形与控制

一、判断正误 (10 分)

要求：阅读下列各概念，判断其正确与错误。将判断结果分别以小标题形式列于答题纸上，对于判断为错误的概念还需写出错误概念的错误之处。

1. 层错是由于晶体点阵中局部存在多余的半原子面的结果。
2. 位错属于晶体缺陷，又属于线缺陷。
3. 通常晶体中原子的扩散激活能愈高，其扩散系数愈大，扩散速度愈快。
4. 具有不同晶体点阵的材料具有不同的滑移系，因此其可形变的倾向也不同。
5. 位错密度愈高，相应位错的柏氏矢量愈大。
6. 包晶转变是指由液相与一个固相相互作用，包覆原有固相形成的另一个新固相的转变。
7. 非平衡结晶是指在实际冷却条件下，合金以较大速度冷却，偏离平衡条件的结晶，在非平衡条件下匀晶转变后新得的固溶体内部的成分是不均匀的。
8. 金属凝固是通过固相形核和核长大两个过程进行的，在晶核长大过程中一般纯金属（如 Fe、Ni、Cu、Au 等）的液固界面均保持光滑状态。
9. 含碳量低于 Fe-C 相图中 S 点成分的钢，无论在何种成分及何种条件下均不可能获得完全的珠光体组织。
10. 晶体由于在不同方向上原子规则排列的紧密程度不同，导致原子间距和原子间的结合力不同，因而在不同方向上具有不同的性能。所以大多数金属及合金亦都表现出具有各向异性的特征。

二、选项 (12 分)

要求：在下列各题中从所给各答案中选出正确的项目；所选项目数量超出所设正确项目数量时，错选部分倒扣分；未超出所设正确答案数量时，只计正确选项分数，错选不扣分。将各题的选项分别用项目的字母列于答卷纸上。

1. 钢中的奥氏体：

(1) 可表示为溶有碳原子的 γ -固溶体。

(2) 可表示为溶有碳原子的 α -固溶体。

(3) 无论在室温还是高温下均具有良好的可塑性。

(4) 具有铁磁性。

(5) 具有顺磁性。

2. 铁碳合金平衡相图:

(1) 含有包晶转变。

(2) 含有共晶转变。

(3) 含有匀晶转变。

(4) 含有包共晶转变。

(5) 含有固溶体的脱溶析出转变。

3. 金属断裂的断口特征:

(1) 脆性断裂的一种断口形式是穿晶解理。

(2) 解理断口主要表现为河流状花样。

(3) 依河流的走向可判断微区裂纹的扩展方向, 即河流的汇集方向为裂纹的扩展方向。

(4) 有的材料其韧性断裂的断口则呈现为舌形花样。

(5) 韧性断裂主要表现为沿晶韧窝断口形式。

4. 固态扩散:

(1) 钢中铁原子的扩散属于自扩散, 与浓度梯度无关。

(2) 钢中合金元素的扩散属于异扩散, 在不存在化学梯度时, 则与浓度梯度有关。

(3) 扩散第一定律只适合于稳态扩散条件, 因此用其不能处理钢在渗碳过程中碳的扩散系数的准确测定。

(4) 上坡扩散仅与扩散元素的化学梯度相关, 而与浓度梯度无关。

(5) 位错的增殖是通过原子扩散运动实现的。

三、填空 (30 分)

要求: 将试题中各括号所应填写的内容按其字母顺序填写在试卷纸上。

1. 金属典型的晶体结构类型有 (1)、(2) 和 (3), 其配位数相应为 (4)、(5) 和 (6)。

2. 多晶体中的晶界有大角与小角晶界之分, 通常大角与小角晶界的鉴定角度是 (7), 其角度的含义是 (8)。对于小角晶界按其特征又划分为 (9)、(10) 和 (11) 等多种类型。

3. 当过冷液体中出现一个晶胚时, 总的自由能变化 ΔG 可写为 (12), 当 $d\Delta G/dr=0$ 时, 所得的 “ r ” 值称为 (13), 其大小决定于 (14) 和 (15)。“ r ” 变小意味着形核率会 (16)。

表现

然而

滑移

(27)

成 (

共晶
的计

性的

据。

[101

变?

过程
意图
多少
无关

4. 根据相律, 三元系最大平衡相数为 (17), 此时自由度 (18), 在相图上表现为 (19)。

5. 刃位错在滑移面上的运动称为 (20), 作垂直滑移面的运动称为 (21)。然而, 螺位错则不能进行 (22) 运动。

6. 面心立方金属的滑移面通常是 (23), 滑移方向是 (24), 可组成 (25) 个滑移系。

7. 扩散第一定律只适合于 (26) 条件, 第一定律所表达的基本含义是: 在 (27) 的条件下, 只要浓度梯度存在就会有扩散发生, 而且扩散通量与浓度梯度成 (28) 变化。扩散流动方向是由 (29) 浓度向 (30) 浓度。

四、简答题 (20 分)

从以下 3 题中任选两题回答, 多选则按回答顺序计前两题的分数。

1. 分析材料发生塑性变形的机制及表现形式?
2. 何谓成分过冷? 成分过冷对晶体生长形态有何影响?
3. 何为孪晶与退火孪晶? 解释其各自的形成机制。

五、分析与讨论 (30 分)

1. 分析三元共晶投影图的绘制方法, 试利用三元共晶投影图, 以任意一亚共晶成分的三元系合金为例分析其结晶过程, 并说明每一阶段所得结晶组织含量的计算方法。(20 分)

2. 试从结合键的角度讨论金属较无机非金属通常表现出较高的塑性或延展性的原因。(10 分)

六、相图建立 (20 分)

1. 试以图示说明用自由焓-成分曲线绘制二元匀晶相图的步骤, 并说明其依据。

2. 绘制一个 BCC 晶胞, 并于其中标示出下列晶向: $[001]$ 、 $[010]$ 、 $[210]$ 、 $[101]$ 及任意两个非平行的滑移面及其上的任意两个不同的滑移方向。

七、识图分析与计算 (30 分)

图 38-1 为锡青铜 (铜-锡二元合金) 的平衡状态图。

1. 结合此图所示, 识别其中有几个包晶转变、几个共晶转变、几个共析转变? 几种类型的固溶体? 并举例说明各是何种类型的固溶体?

2. 分析含锡为 20% (Wt.) 的锡青铜的平衡结晶及其在随后的冷却至室温的过程中各经历了哪几种相的转变? 其室温下的平衡组织是什么? 并绘制其组织示意图 (标示出其中的基本组成物的名称)、计算组织中的基本组成相的含量各是多少? (图中虚线所示为不同快冷条件下的非平衡转变示意图曲线, 与本题要求无关。)

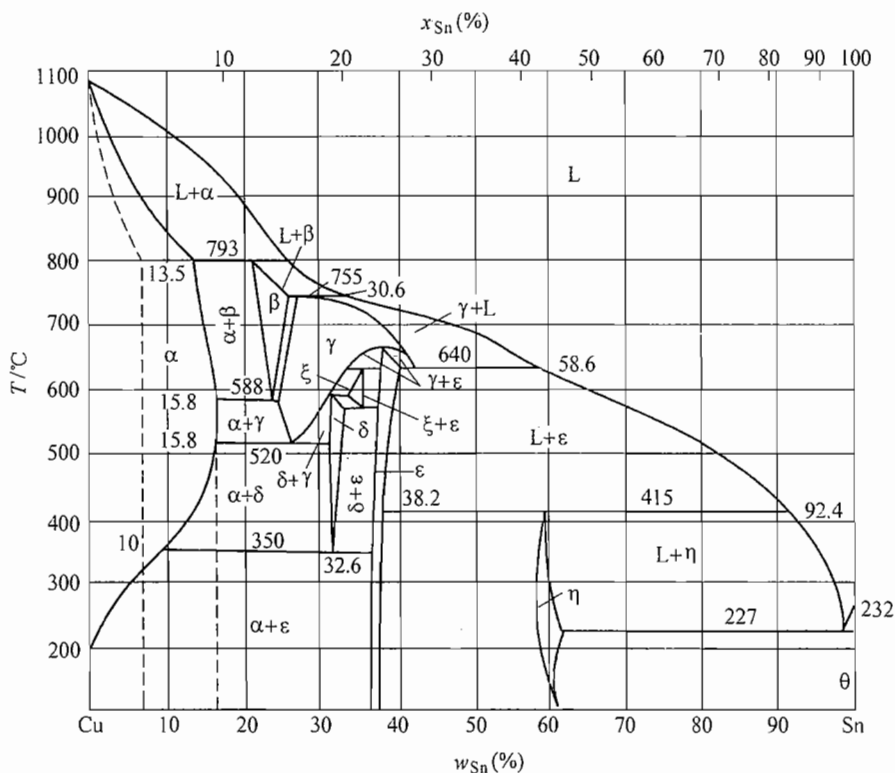


图 38-1 第七题图

标准答案

一、1. ×; 2. √; 3. ×; 4. √; 5. ×; 6. √; 7. √; 8. ×; 9. ×; 10. ×。

二、

1. (1) (3) (5)。

2. (1) (2) (3) (5)。

3. (2) (3) (5)。

4. (1) (4) (5)。

三、

(1) FCC; (2) BCC; (3) HCP; (4) 12; (5) 8; (6) 12; (7) 10° ; (8) 相邻晶粒的位向差; (9) 扭转; (10) 倾侧; (11) 重合; (12) $\Delta G = V\Delta G_V + \sigma S$; (13) 临界晶核半径; (14) ΔG_V ; (15) σ ; (16) 增多; (17) 4; (18) 0; (19) 水平面; (20) 滑移; (21) 攀移; (22) 攀移; (23) $\{111\}$; (24) $\langle 110 \rangle$; (25) 12; (26) 稳态; (27) $\frac{dc}{dt} = 0$; (28) 正比; (29) 高; (30) 低。

动。
错中
际晶
全长
错扭
果使

交截
阻力

应力
是一

生层

变。
中，
弯曲

化，
也会
方面
在界
大，

当达

称的
孪晶

金、
片为

四、

1. 材料发生塑性变形通常有三种方式, 具体如下:

(1) 滑移。晶体在切应力的作用下, 沿着滑移方向在滑移面上发生相对运动。其位错机制为: 由于晶体点阵结构的周期性, 当位错沿着滑移面运动时, 位错中心的能量也要发生周期性的变化, 从而使得位错运动遇到点阵阻力。但在实际晶体中, 一定温度下, 当位错线从能谷位置移向相邻能谷位置时, 并不是沿其全长同时越过能峰, 在热激活能的帮助下, 可以部分先越过, 同时位错线形成位错扭折, 那么随后位错的运动, 借助于扭折位错线会很容易地向旁边侧运动, 结果使得整个位错线滑移所需的应力下降许多。

滑移过程中, 除点阵阻力外, 位错与位错的交互作用产生的阻力, 位错运动交割后形成的扭折和割阶, 位错与其他晶体缺陷交互作用产生的阻力, 均会产生阻力, 导致晶体滑移时还会产生晶体强化现象。

(2) 孪生。是晶体在不能滑移时进行的一种塑性变形方式。它也是晶体在切应力的作用下, 沿着孪生方向和孪生面发生相对运动。与滑移不同之处在于孪生是一种均匀切变, 而且孪晶的两部分晶体形成镜面对称。

其位错机制在于晶体中一个不全位错滑动后, 使得相互平行并且相邻晶面发生层错而产生孪晶。

(3) 扭折。当晶体既不能滑移也不能进行孪生时, 可以以扭折的方式进行塑变。其特点是扭折晶体的取向发生了不对称性的变化。位错机制是指在塑变过程中, 其他区域位错运动过程中, 同号刃型位错堆积在一起, 位错的汇集处产生了弯曲应力, 使得晶体点阵发生弯曲和扭折从而产生扭折区。

2. 成分过冷是指固溶体合金在冷却过程中, 由于液相中溶质的分布发生变化, 合金熔点也随之发生变化, 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, 固溶体合金的过冷度是由变化着的合金熔点与实际温度分布两个方面的因素决定的。这种因液相成分变化而形成的过冷称为成分过冷。其特点是在界面处合金熔点最低, 过冷度最小, 随着 S/L 界面距离增大, 过冷度反而增大, 至一定距离后因溶质堆积的边界层消失, 过冷区随之消失。

产生成分过冷后, 即使是正温度梯度下, 结晶时也会以胞状晶的方式长大, 当过冷度再大时, 会产生树枝状生长晶体。

3. 孪晶是指两个晶体(或一个晶体的两部分)沿一个公共晶面构成镜面对称的位向关系, 这两部分晶体就叫做孪晶。孪晶依据其形成方式分为三种: 变形孪晶(机械孪晶)、生长孪晶和退火孪晶。

退火孪晶是孪晶中的一种, 它是指在某些面心立方金属, 如 Cu、Ni 及镍合金、奥氏体钢等, 在冷变形并再结晶退火后, 在晶粒内部会形成具有平直界面的片状孪晶, 这些孪晶的界面是 $\{111\}$ 面。由于它们是在退火后才出现的, 因而

叫做退火孪晶。

孪晶的生成是由于孪生变形时,整个孪晶区发生均匀切变,其各层晶面的相对位移借助于一个不全位错运动造成的。以面心立方晶体为例,当形成孪晶时需要产生堆垛层错。例如面心立方晶体是以 $\{111\}$ 面按 $ABCABC\cdots$ 的顺序堆垛而成的,可用 $\triangle\triangle\triangle\triangle\triangle\cdots$ 表示,如果从某一层开始,其堆垛顺序发生颠倒,成为 $ABCACBACBA\cdots$,即 $\triangle\triangle\triangle\nabla\nabla\nabla\nabla\cdots$,则上下两部分晶体就构成了镜面对称的孪晶关系。可以看出 $\cdots CAC$ 处相当于堆垛层错,接着就按倒过来的顺序堆垛,仍属正常的 FCC 堆垛顺序,但与出现层错之前的那部分晶体顺序刚好相反,故形成对称关系。而这个过程是借助于一个不全位错(肖克莱不全位错)运动造成的。

五、

1.

(1) 以固态下互不固溶三元合金为例,如图 38-2 所示:

①首先作出浓度三角形 ABC ;

②选取空间图上各个特殊点: E 、 e_1 、 e_2 、 e_3 ,在成分三角形上作出投影;

③连接 e_1E 、 e_2E 、 e_3E 三条液相变温线,交点 E 则为三相共晶点;

④由此可确定出各个面的投影,即:液相面为 Ae_1Ee_3A 、 Be_1Ee_2B 、 Ce_2Ee_3C ;三相共晶开始面分别为 Ae_1A-BEe_1B , Ae_3A-CEe_3C , CEe_2C-BEe_2B , ABC 为四相平衡平面。

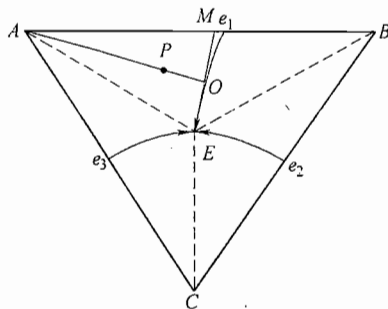


图 38-2 第五题第 1 小题解答图

由此作出了一个完整的投影图。

(2) 以合金成分 P 为例分析:合金冷却到与液相面 Ae_1Ee_3A 相交时,析出初晶 A ,此时进入两相区,液相成分沿 AP 延长线变化,随温度下降,液相不断减少, A 不断增加,当液相成分变到 e_1E 线上的 O 点时,开始发生三相共晶 $L \rightarrow A + B$ 反应。继续降温,液相成分沿 e_1E 线变到 E 点,发生四相共晶反应: $L_E \rightarrow A + B + C$,液相全部耗尽。室温组织最终为: $A_{\text{初晶}} + (A + B)_{\text{共晶}} + (A + B + C)_{\text{共晶}}$ 。

组织计算:

在两相区时,液体与 A 两相平衡,因此当液体成分到达 O 点时,初晶的量达到最大,可得到 $A\% = OP/OA \times 100\%$,其余为剩余液相,也即三相共晶与二相共晶的总量。

继续冷却时,起始液体成分为 O 点,在三相区进行相变,当液体最终消失时,成分点为三相共晶点 E ,那么,二相共晶成分点应在 OE 线的延长线上,同

时二
相共

的混
子共
饱和
的密
坏,

力较
大的
比较
性,

分点

时二相共晶为 $(A+B)$ ，因此，该合金成分点又应在 AB 线内，由此，确定出二相共晶点应为 OE 与 AB 的交点 M 。

$$\text{所以} \quad (A+B)\% = OE/ME \times (1 - OP/OA) \times 100\%$$

$$(A+B+C)\% = OM/ME \times (1 - OP/OA) \times 100\%$$

2. 金属材料的结合以金属键为主，过渡族金属的结合键为金属键和共价键的混合，无机非金属材料结合的主要方式为离子键和共价键。金属键的特点是电子共有化，自由电子可在整个晶体中运动，因此该键无饱和性和方向性。由于无饱和性和方向性，因而每个原子有可能和更多的原子相结合，并趋于形成低能量的密堆结构。当金属受力变形而改变原子之间的相互位置时不至于使金属键破坏，这就使金属具有良好的延展性。

离子键是以离子为结合单元，其中的结合是依靠正负离子静电吸引力，结合力较强，因此很难产生自由运动的电子。而共价键是由两个或多个电负性相差不大的原子通过共用电子对而形成的化学键，各个键之间都有确定的方位，配位数比较小，结合牢固，相邻原子间的共用电子对不能自由运动，具有方向性和饱和性，因此一般而言塑、韧性差。

六、

1. 如图 38-3 所示，作图步骤如下：

①建立不同温度下的各相的自由焓-成分曲线。

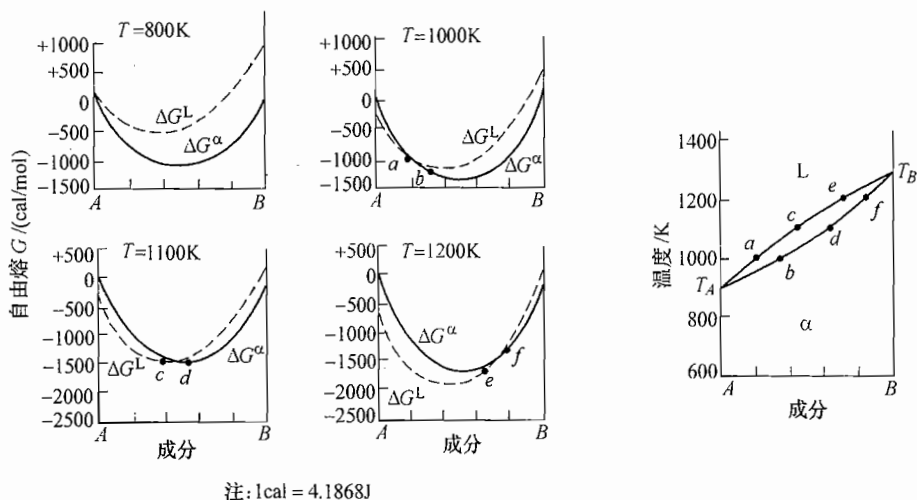


图 38-3 第六题第 1 小题解答图

②利用公切线法则在每组曲线上找出各相稳定存在的成分区间和二平衡相成分点。

③将不同温度下所得的二平衡相成分点 a 、 b 、 c 、 d 、 e 、 f 标注到温度—成分坐标系中。

④将意义相同的成分点连接起来，就形成了一个相图。

其中， ace 为液相成分点构成液相线，其上方为液相区， bdf 为固相成分点构成固相线，其下方为 α 固溶体区， ace 与 bdf 之间为液固共存的二相区。

2. 见图 38-4。

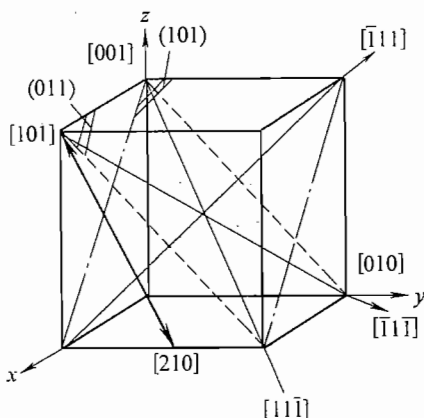


图 38-4 第六题第 2 小题解答图

七、

1.

包晶转变： $\alpha + L \xrightarrow{793^\circ\text{C}} \beta$; $\beta + L \xrightarrow{755^\circ\text{C}} \gamma$; $\epsilon + L \xrightarrow{415^\circ\text{C}} \eta$

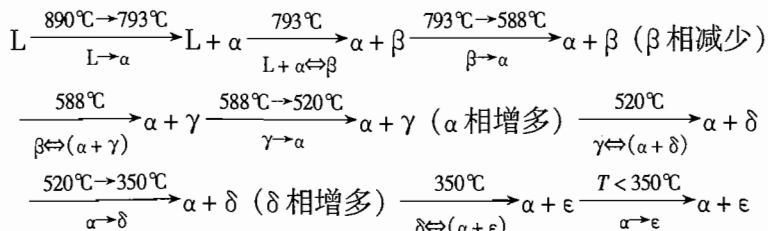
共晶转变： $L \xrightarrow{227^\circ\text{C}} \theta + \eta$

共析转变： $\beta \xrightarrow{588^\circ\text{C}} \alpha + \gamma$; $\zeta \xrightarrow{582^\circ\text{C}} \delta + \epsilon$

$\gamma \xrightarrow{520^\circ\text{C}} \alpha + \delta$; $\delta \xrightarrow{350^\circ\text{C}} \alpha + \epsilon$

相图中有两大类型的固溶体，其中有以纯金属为基的第一类固溶体，例如： α 、 θ 等，还有以化合物为基的第二类固溶体，例如 $\gamma(\text{Cu}_3\text{Sn})$ 、 $\delta(\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8)$ 等。

2. 成分为 20% (Wt.) 的锡青铜在平衡结晶过程中先后发生匀晶反应、包晶反应以及不同温度下的共析反应等，具体平衡结晶过程如下所示：



所以，最终组织为 $(\alpha + \epsilon)$ 。其中，相组成物相对含量：

$$\alpha\% = \frac{38.2 - 20}{38.2} \times 100\% = 47.64\% \quad \epsilon\% = 1 - \alpha\% = 52.36\%$$

考试
适用

(2

关。

临界

形核
程中

与界

时过

学习
负，
在此

制备
等有

试卷三十九

2005 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料科学与工程、材料成形与控制、材料物理与化学

一、名词解释 (8×3 分 = 24 分) 要求：将答案写在答题纸上

1. 配位数 2. 柏氏矢量 3. 离异共晶 4. 反应扩散
5. 临界分切应力 6. 中间相 7. 平衡分配系数 8. 固溶强化

二、填空 (30×1 分 = 30 分) 要求：将答案按题号顺序写在答题纸上

1. 金属典型的晶体结构类型有 fcc、bcc 和 hcp，其配位数相应为 (1)、(2)和 (3)。

2. 置换固溶体的溶解度与原子尺寸因素、(4)、电子浓度因素和 (5) 有关。

3. 当过冷液体中出现一个半径为 r 的球形晶胚时，其临界晶核半径为 (6)，临界形核功为 (7)。 r^* 变小意味着形核数目 (8)。

4. 固溶体合金结晶过程中遵循形核和核长大规律，但它不同于纯金属的是形核时还额外需要 (9) 起伏，它也是在 (10) 过程中进行的，同时在结晶过程中还始终伴随着 (11) 的扩散。

5. 晶体长大方式与 (12) 有关，而晶体长大形态与 (13) 有关，同时也与界面前沿的 (14) 分布有关。

6. 单晶体在发生塑性变形时，常见的方式有 (15)、(16) 和 (17)。

7. 动态回复与动态再结晶是指在高温下进行形变，即变形过程中 (18) 同时进行。

8. 扩散第一定律适用于稳态扩散，其数学表达式可写成 (19)，扩散通量的符号为负，表示扩散由高浓度向低浓度方向进行，在此过程中扩散的驱动力是 (20)。

9. 冷变形后，再结晶后晶粒度大小的控制与 (21)、原始晶粒尺寸、(22) 和杂质等有关。

10. 如图 39-1 所示有一位错环，其中 A

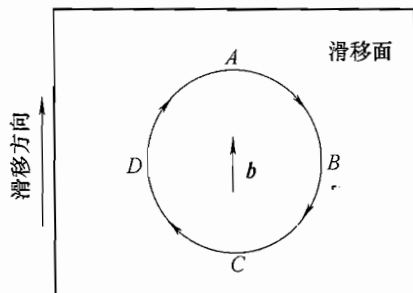


图 39-1 第二题第 10 小题图

点位错的性质为 (23), 它可作的运动为 (24), B 点位错的性质为 (25), 它可作的运动为 (26)。

11. 根据相律, 三元系自由度为零时, 在相图上表现为 (27), 最大平衡相数为 (28)。

12. 晶体在外力作用下内部运动着的位错会产生交截现象, 即产生割阶与扭折, 其长度与相交截位错的 (29) 相同, 而如果割阶的滑移与主位错线的滑移不一致, 主位错线会拖曳割阶产生攀移运动, 从而产生 (30)。

三、简答题 (6×10 分 = 60 分)

1. 试证明: 在同样过冷度下均匀形核时, 球形晶核较立方晶核更易形成。

2. 为什么在正温度梯度下凝固时, 纯金属以平面状方式生长, 而固溶体合金却通常以树枝晶方式长大? 两者在凝固过程中的异同点有哪些?

3. 从材料塑性变形的机制来论述细晶强化理论。

4. 再结晶、重结晶和二次再结晶三者概念上有何区别?

5. 室温下对铅板进行弯折, 越弯越硬, 而隔一段时间后再行弯折, 铅板又像最初一样软, 为什么? 试说明该现象。

6. 为什么金属晶体在滑移过程中总是沿着滑移面和滑移方向进行?

四、默画 Fe-Fe₃C 相图, 填写相区, 并回答: (30 分)

1. 奥氏体、铁素体、渗碳体各为何种结构?

2. 分别由亚共析钢和过共析钢制成的两个试样, 经组织分析确认其珠光体量约为 80%, 试确定两种钢含碳量, 并回答两种钢中共析渗碳体量是否相等, 为什么?

3. 分析共晶白口铁的结晶过程, 并用杠杆定理计算变态莱氏体中组织组成物的相对含量。

五、图 39-2 所示成分三角形中, 确定用 10kg P 成分合金与 10kg S 成分合金熔化混合后的合金 M 的成分, 并在图中标出 M 。(6 分)

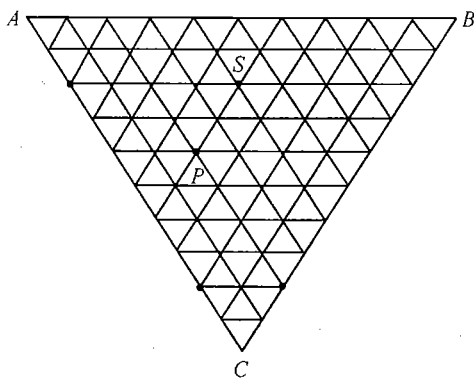


图 39-2 第五题图

标 准 答 案

一、

1. 配位数：是反映原子排列紧密程度的物理量之一，指晶格中任一原子周围与其最近邻且等距离的原子数目。一般配位数越大，晶体排列结构越致密。

2. 柏氏矢量：用来描述位错引起晶格畸变的物理量。该矢量的模是位错的强度，表示晶格总畸变的大小，其方向表示晶格总畸变的方向。一般情况下，该矢量越大，晶体畸变的程度越大。

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饱和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. 临界分切应力：晶体中的某个滑移系是否发生滑移，决定于力在滑移面内沿滑移方向上的分切应力大小，当分切应力达到某一临界值时，滑移才能开始，此应力即为临界分切应力，它是使滑移系开动的最小分切应力。材料的临界分切应力取决于材料的本身性质，但和温度以及材料的纯度等也有关系。

6. 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。

7. 平衡分配系数：固溶体合金在结晶过程中具有选分结晶的特点。因此在一定温度下平衡时，固相成分与液相成分之比称为平衡分配系数。该参数反映了溶质在固液两相中的分配系数及溶质对合金熔点的影响程度。

8. 固溶强化：当形成固溶体后，溶剂晶格中因溶有溶质原子而产生晶格畸变，溶质原子的应力场会与位错产生交互作用而阻碍位错运动，增大了位错运动的阻力，使得临界分切应力远比纯金属大，滑移系开动比纯金属困难，使材料的塑性变形抗力提高，硬度、强度上升，而塑性、韧性下降的现象称为固溶强化。

二、(1) 12; (2) 8; (3) 12; (4) 电负性因素; (5) 晶体结构因素; (6)

$-\frac{2\sigma}{\Delta G_v}$; (7) $\frac{1}{3}\sigma_s = \frac{16\pi\sigma^3}{3\Delta G_v^2}$; (8) 增多; (9) 成分; (10) 变温; (11) 异质原子 (溶质

原子); (12) 界面结构; (13) 界面结构; (14) 温度梯度; (15) 滑移; (16) 孪生; (17) 扭折; (18) 形变硬化与软化; (19) $J = -Ddc/dx$; (20) 化学位梯度 (化学

力); (21) 冷变形度; (22) 再结晶温度; (23) 刃型位错; (24) 滑移和攀移; (25) 螺型位错; (26) 滑移; (27) 平面; (28) 4; (29) 柏氏矢量的模; (30) 割阶硬化。

三、

1. 由 $r^* = \frac{2\sigma}{\Delta G_V}$, 得球形核胚的临界形核功

$$\Delta G_b^* = -\frac{4}{3}\pi\left(\frac{2\sigma}{\Delta G_V}\right)^3 \Delta G_V + 4\pi\left(\frac{2\sigma}{\Delta G_V}\right)^2 \sigma = \frac{16\pi\sigma^3}{3\Delta G_V^2}$$

边长为 a 的立方晶核的临界边长 $a^* = \frac{4\sigma}{\Delta G_V}$, 则其临界形核功

$$\Delta G_t^* = -\left(\frac{4\sigma}{\Delta G_V}\right)^3 \Delta G_V + 6\left(\frac{4\sigma}{\Delta G_V}\right)^2 \sigma = \frac{32\sigma^3}{\Delta G_V^2}$$

将两式相比较

$$\frac{\Delta G_b^*}{\Delta G_t^*} = \frac{\pi}{6} \approx \frac{1}{2}$$

可见, 形成球形晶核的临界形核功仅为形成立方形晶核的 $\frac{1}{2}$ 。

2. 纯金属在结晶时其界面是粗糙的, 在正温度梯度下进行长大。由于晶体长大时通过固相模壁散热, 固液界面是等温的。若取得动态过冷度界面就向前移动。如果界面局部有小的凸起伸向过热的液相中, 小凸起将被熔化, 故界面一直保持平直, 晶体以平面状长大。

固溶体结晶时会出现成分过冷, 在固液界面前出现成分过冷区。此时界面如有任一小的凸起它将伸入成分过冷区而获得过冷就能继续生长下去, 故界面不能保持平直稳定会出现树枝晶。

3. 材料的强化理论中, 细晶强化是唯一的既可提高材料强度, 又可提高材料韧性的方法。具体解释如下:

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。

综上所述, 细晶强化可以提高材料的综合力学性能。

4. 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, 性能恢复到冷压力加工前的软化状态的过程。

有极
几

程;
晶自
晶后
会

得
发

力。
原
因

钢

含

二次再结晶——指再结晶退火后的金属在更高温度或更长时间的保温下，会有极少数晶粒迅速吞并其他晶粒而长大，结果整个金属由少数比再结晶后晶粒大几十倍至几百倍的特大晶粒所组成的现象。

三者的区别与联系：重结晶发生相变过程，再结晶和二次再结晶没有相变过程；重结晶和再结晶是形核与长大的过程；二次再结晶只是长大过程；发生重结晶的驱动力为新旧两相自由能差，再结晶为储存能，二次再结晶为界面能；再结晶后强度、硬度下降而塑、韧性提高，二次再结晶后材料的强度、塑性、韧性都会下降。

5. 室温下，对铅板进行弯折，越弯越硬的原因是发生了加工硬化，从而使铅板的强度、硬度提高。放置一段时间后，由于铅板的熔点较低，在室温下又发生再结晶软化，从而其硬度又下降。

6. 金属晶体滑移是位错运动的结果，而位错运动中主要受到晶体点阵的阻力。在晶体中，原子排列越密的晶面之间的面间距越大，原子排列越紧密的方向原子间距越小，这样位错沿着滑移面和滑移方向滑移时，所受的滑动阻力最小，因此金属晶体在滑移过程中总是沿着滑移面和滑移方向进行。

四、相图略。

1. 奥氏体：碳在 $\gamma\text{-Fe}$ 中的间隙式固溶体，为面心立方结构。

渗碳体：铁和碳形成的间隙式化合物，属于正交系。

铁素体：碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的间隙式固溶体，体心立方结构。

2. 相等。因为共析渗碳体只存在于珠光体中，而珠光体量相等，因此两种钢中共析渗碳体量是相等的。

设亚共析钢含碳量为 $x\%$ ，过共析钢含碳量为 $y\%$ ，则

$$\frac{x - 0.0218}{0.77 - 0.0218} \% = 80\% \quad x = 0.62\%$$

$$\frac{6.69 - y}{6.69 - 0.77} \% = 80\% \quad y = 1.95\%$$

3. 室温组织为 $P + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{共晶}} + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$ ，其中

$$\text{Fe}_3\text{C}_{\text{共晶}} \% = \frac{EC}{EF} = \frac{4.3 - 2.11}{6.69 - 2.11} \times 100\% = 47.82\%$$

$$\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}} \% = \frac{CFSE}{EFSE} = \frac{6.69 - 4.3}{6.69 - 2.11} \times \frac{2.11 - 0.77}{6.69 - 0.77} \times 100\% = 11.81\%$$

$$P \% = 1 - \text{Fe}_3\text{C}_{\text{共晶}} \% - \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}} \% = 40.37\%$$

五、 M 点位于 P 、 S 两点连线的中点，如图 39-3 所示。所以， M 点中 A 的含量为 40%， B 的含量为 30%， C 的含量为 30%。

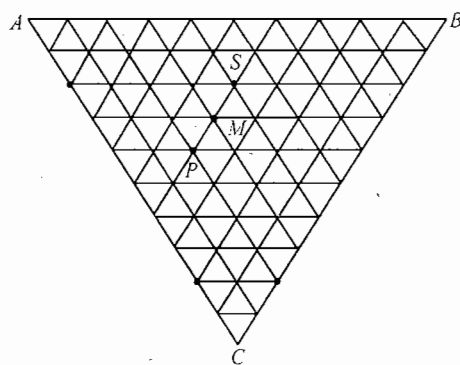


图 39-3 第五题解答图

考试
适用

(3)
小身
形和
还如
且晶

关于
子结
表面
度
中其

试 卷 四 十

2006 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料科学与工程、材料控制与成形、材料物理与化学

一、填空 (15×1 分)

1. 置换固溶体的溶解度与原子尺寸因素、(1)、电子浓度因素和 (2) 有关。
2. 当过冷液体中出现一个半径为 r 的晶胚时, 所得的临界晶核半径大小为 (3)。 r^* 变小意味着形核数目 (4), 晶核均匀形核依靠 (5) 提供 $r > r^*$ 的原子小集团充当晶核, 依靠 (6) 提供相当于界面能 (7) 的形核功。
3. 固溶体合金结晶过程中遵循形核和核长大规律, 但它不同于纯金属的是形核时还额外需要 (8) 起伏, 它也是在 (9) 过程中进行的, 同时在结晶过程中还始终伴随着 (10) 的扩散。
4. 金属塑性变形过程中发生孪生后, 孪晶面两边的晶体位向呈现 (11), 并且晶体是 (12) 切变的。
5. 冷塑变金属低温回复时, 主要是 (13), 高温回复时, 主要是发生 (14)。
6. 动态回复与动态再结晶是指在变形过程中 (15) 同时进行。

二、名词解释 (5×3 分)

1. 相 2. 固溶体 3. 反应扩散 4. 成分过冷 5. 枝晶偏析

三、简答题 (任选六题回答, 6×10 分)

1. 图 40-1 绘出了三类材料——金属、离子晶体和高分子材料之能量与距离关系曲线, 试指出它们各代表何种材料? 并说明三种材料所具有的基本性能与原子键之间的关系。

2. 画出三种典型晶胞结构示意图, 写出其表示符号, 晶胞中的原子数、配位数以及致密度的具体值。

3. 如图 40-2 所示的晶体中, $ABCD$ 滑移面中央有一个位错环, 位错线方向为逆时针方向, 其柏氏矢量 \mathbf{b} 平行于 AC 。

(1) 指出位错环各部分的位错类型。

(2) 在图中表示出使位错环向外运动所需

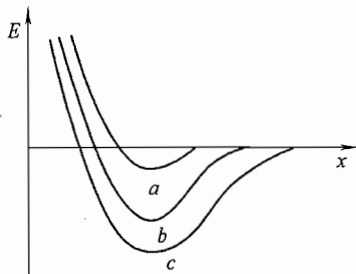


图 40-1 第三题第 1 小题图

施加的切应力方向。

(3) 该位错环运动出晶体后, 晶体外形如何变化?

4. 简述纯金属晶体长大的机制及其与固/液界面微观结构的关系。

5. 依据反应温度由高到低, 依次写出 $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$ 合金系中三相平衡反应的反应式, 并分别说明 $\text{Fe}_3\text{C}_\text{I}$ 、 $\text{Fe}_3\text{C}_\text{II}$ 、 $\text{Fe}_3\text{C}_\text{III}$ 、 $\text{Fe}_3\text{C}_\text{共析}$ 和 $\text{Fe}_3\text{C}_\text{共晶}$ 的来源及形貌特征。

6. 说明第一类和第二类回火脆性的异同点。

7. 简述马氏体高硬度的本质原因。(答出其中三点即可)

8. 试述影响扩散系数的主要因素?

9. 试分析冷变形量对再结晶晶粒尺寸的影响。

10. 根据凝固理论, 试述细化晶粒的基本途径与基本原理。

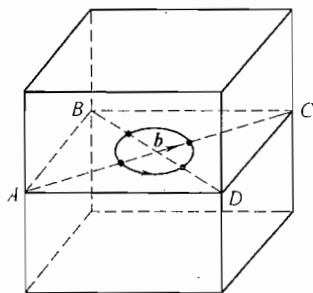


图 40-2 第三题第 3 小题图

四、相图分析 (20 分)

二元合金相图如图 40-3 所示。

1. 分析 5.5%Cu 合金和 5.8%Cu 合金在平衡结晶和快速冷却不平衡结晶时的组织特点。

2. Al 为 fcc 结构, 图中的 α 相为何种晶体结构?

3. 计算出亚共晶合金在温度为 T_E (共晶反应前) 时的平衡分配系数。

4. 设 X 合金平衡凝固完毕时的组织为 α 初晶 + ($\alpha + \theta$) 共晶, 其中 α 初晶占 80%, 则此合金中 Cu 组元的含量是多少?

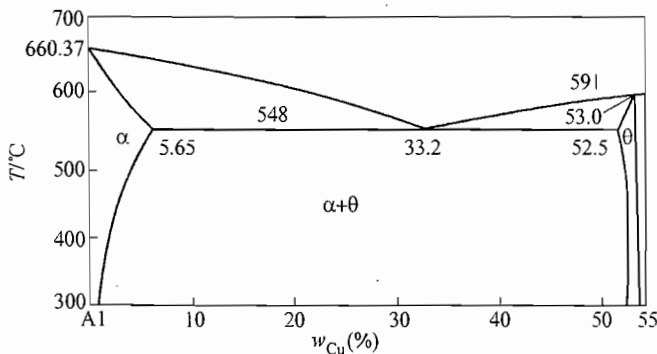


图 40-3 第四题图

五、计算 (10 分)

有一 70MPa 应力作用在 FCC 晶体的 $[001]$ 方向上, 求作用在 $(111) [10\bar{1}]$ 和 $(1\bar{1}1) [110]$ 滑移系上的分切应力, 晶体中哪个滑移系先开动?

六、论述 (30 分)

1. 分析加工硬化、细晶强化、固溶强化与第二相强化在本质上有什么异同。
2. 说明金属在冷变形、回复、再结晶及晶粒长大各阶段晶体缺陷的行为与表现以及材料相应的性能,并说明各阶段促使这些晶体缺陷运动的驱动力是什么。

标 准 答 案

一、(1) 电负性因素; (2) 晶体结构因素; (3) $\frac{-2\sigma}{\Delta G_v}$; (4) 增多; (5) 结构起伏; (6) 能量起伏; (7) $1/3$; (8) 成分; (9) 变温; (10) 异类原子; (11) 对称关系; (12) 均匀; (13) 点缺陷的消失; (14) 多边形化; (15) 软化与形变硬化。

二、

1. 相: 合金中具有同一聚集状态、同一晶体结构、成分基本相同, 并有明确界面与其他部分相分开的均匀组成部分。

2. 固溶体: 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晶格类型, 结点上或间隙中含有其他组元原子。

3. 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饱和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。

4. 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。

5. 枝晶偏析: 是材料的一种微观偏析, 即固溶体在非平衡冷却条件下, 匀晶转变后新得的固溶体晶粒内部的成分是不均匀的, 先结晶的内核含较多的高熔点的组元原子, 后结晶的外缘含较多的低熔点的组元原子, 而通常固溶体晶体以树枝晶方式长大, 这样, 枝干含高熔点组元较多, 枝间含低熔点组元原子多, 造成同一晶粒内部成分的不均匀现象。

三、

1. a : 高分子材料; b : 金属材料; c : 离子晶体。

2. 略。

3.

(1) 如图 40-4a 所示, C' 点为负刃位错, A' 点为正刃位错, B' 点为左螺

位错, D' 点为右螺位错。其他各点处为混合型位错。

(2) 如图 40-4a 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。

(3) 如图 40-4b 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。

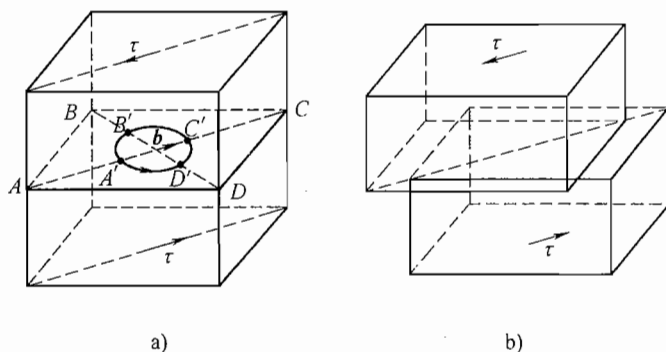
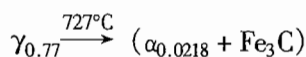
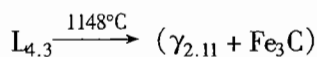
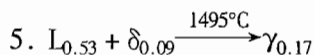


图 40-4 第三题第 3 小题解答图

4. 纯金属晶体的液固界面一般为粗糙界面,

因此对于纯金属晶体, 在长大过程中, 往往是按照粗糙界面的垂直长大方式长大, 由于界面上有近 50% 的位置是空缺的, 液相原子的添加不受位置的限制, 因此有利于原子连续的填充, 从而使得液固界面沿法线方向迅速长大。



$\text{Fe}_3\text{C}_{\text{I}}$: 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。

6. 在 $250 \sim 400^{\circ}\text{C}$ 间回火时出现的脆性叫低温回火脆性, 也称第一类回火脆性; 在 $450 \sim 650^{\circ}\text{C}$ 间回火时出现的脆性称高温回火脆性, 也称第二类回火脆性。第一类回火脆性为不可逆的回火脆性; 第二类回火脆性为可逆的。第一类回火脆性是由于马氏体分解时沿马氏体条或片的界面析出断续的薄壳状碳化物, 降低了晶界的断裂强度, 使之成为裂纹扩展的路径, 因而导致脆性断裂; 第二类回火脆性产生的原因是 Sb、Sn、P、As 等杂质元素在回火处理时向原奥氏体晶界偏聚, 减弱了奥氏体晶界上原子间的结合力, 降低晶界断裂强度, 是产生第二类回火脆性的主要原因。

7. 马氏体高强度、高硬度的原因是多方面的:

① 马氏体的晶体结构为体心正方, 不具备位错易动的密排滑移面, 因而位错

不易滑移。

②铁素体通常只含 0.03% 的碳原子，而马氏体中的含碳量和材料本身的含碳量相同，因此马氏体中有大量过饱和的碳原子，固溶强化是马氏体硬度高的主要机制之一。

③不论是板条状马氏体的板条还是片状马氏体的条片都很细小，晶界强化机制也起很大作用。

④马氏体转变时，在晶体内部造成晶格缺陷密度很高的亚结构，板条状马氏体的高密度位错网、片状马氏体的微细孪晶都将阻碍位错运动，从而通过相变引起强化。

⑤马氏体形成后，碳及合金元素的原子向位错或其他晶体缺陷处扩散偏聚或析出，钉扎位错，使位错难以运动，通过时效强化提高马氏体的硬度、强度。

8.

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。

9. 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。

10.

(1) 提高过冷度。晶粒大小取决于形核率和核长大速度的相对关系。当过冷度很大时，会出现形核率的增长速度大于核长大的速度，因此提高过冷度使 $N > G$ ，并使两者差距增大，晶粒才会被细化。

(2) 变质处理。即在浇注前向金属液中添加变质剂，以促进非均匀形核增加晶核数量来细化晶粒。

(3) 振动、搅拌。振动和搅拌能向液体中输入额外能量以提供形核功，促进形核，另一方面能使已结晶的晶体在液流冲击下而碎化，增加核心的数量。

四、

1. 5.5%Cu 合金, 平衡结晶时为 $\alpha + \theta_{II}$, 非平衡时除此外还出现共晶相 $\alpha + \theta$; 5.8%Cu 合金, 平衡结晶时为 $\alpha + (\alpha + \theta)$, 非平衡时出现明显的离异共晶特点: $\alpha + \theta$ 。

2. FCC 结构。

$$3. k = \frac{5.65}{33.2} = 0.176$$

$$4. \frac{33.2 - x}{33.2 - 5.65} \times 100\% = 80\%, \quad x = 11.32\%。$$

五、代入公式计算:

$$\tau = \sigma \cos \varphi \cos \lambda$$

$$\cos \lambda = \frac{|au + bv + cw|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2} \sqrt{u^2 + v^2 + w^2}}$$

$$\cos \varphi = \frac{|ah + bk + cl|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

(其中, abc 分别为外力的晶向指数值)

对于 $(1\bar{1}1)[110]$ 滑移系, 由于 $\cos \lambda = 0$, 所以该滑移系在应力作用下不滑移。

对于 $(111)[10\bar{1}]$ 滑移系, 代入数值, 则

$$\tau = 70 \times \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{\sqrt{2}} = 28.58 \text{MPa}$$

所以 $(111)[10\bar{1}]$ 滑移系开动, 其上的分切应力为 28.58MPa。

六、

1.

相同点: 都是位错运动受阻, 增加了位错滑动的阻力, 使得材料得到强化。

不同点: ①加工硬化: 位错塞积、林位错阻力和形成割阶消耗外力所做的功为其可能机制; ②细晶强化: 增加了晶界, 增加了位错塞积的范围; ③固溶强化: 溶质原子沿位错聚集并钉扎位错; ④第二相强化: 分散的强化相颗粒迫使位错切过或绕过强化相颗粒而额外做功都是分散相强化的位错机制。

2.

(1) 冷变形: 晶体缺陷包括点缺陷、线缺陷、面缺陷均大量增加, 出现加工硬化现象、物化性能相应变活泼; 驱动力为外界所加的分切应力。

(2) 回复: 线缺陷基本不变, 点缺陷明显减少, 力学性能不变, 相应改变物化性能; 驱动力为储存能。

(3) 再结晶: 线缺陷明显变少, 材料出现软化现象; 驱动力为储存能。

(4) 晶粒长大: 面缺陷明显变少; 驱动力为总界面自由能。

西安交通大学

试卷四十一

2002 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料科学与工程

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

一、

1. 在同一个立方晶胞内画出 $(\bar{1}11)$ 晶面和 $[11\bar{2}]$ 晶向，在同一个六方晶胞内画出 $(10\bar{1}1)$ 晶面和 $[11\bar{2}3]$ 晶向。
2. 写出面心立方结构晶体中所有可能的滑移系。
3. 在铜（面心立方结构）单晶体的 $[123]$ 晶向上对其进行拉伸，写出首先开动的滑移系。
4. 写出面心立方结构晶体中滑移系 $(111)[\bar{1}01]$ 的交滑移系。

二、Ti-Al 二元合金相图如图 41-1 所示。

1. 分别写出图中 1285°C 、 1125°C 、 665°C 三个温度时所发生的三相恒温转变的名称及反应式，以及 882°C 时所发生的两相恒温转变的名称及反应式。
2. 分析 Al 质量分数 $w_{\text{Al}} = 30\%$ 的合金的平衡结晶过程，写出 500°C 时的相组成物及组织组成物，并计算它们的质量分数。

三、

1. 铁-碳合金中可能存在的渗碳体有哪几种？
2. 这些渗碳体各在什么温度或温度范围通过什么反应生成？并写出反应式。
3. 这些渗碳体在形态、大小和分布上有何不同？
4. 这些不同种类的渗碳体对铁-碳合金的力学性能将产生怎样的影响？

四、

1. 什么是金属的加工硬化现象？

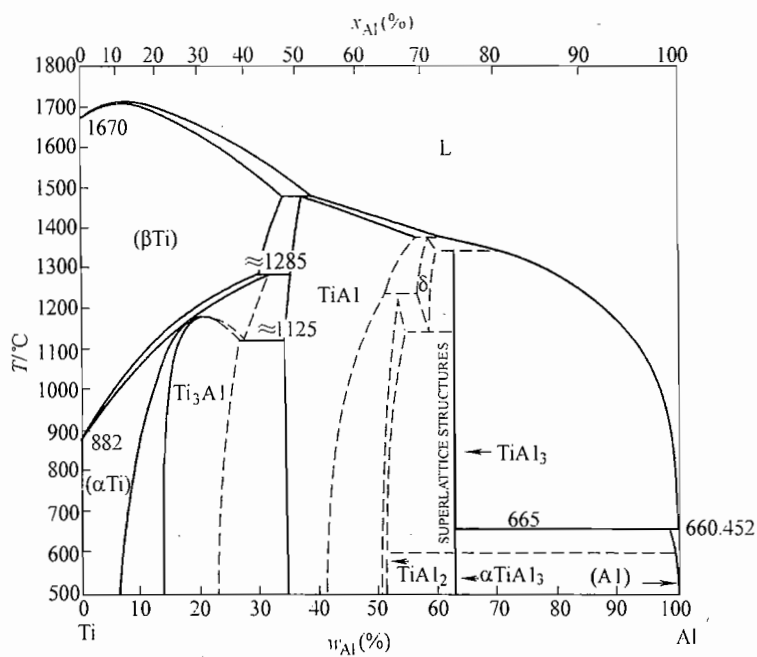


图 41-1 第二题图

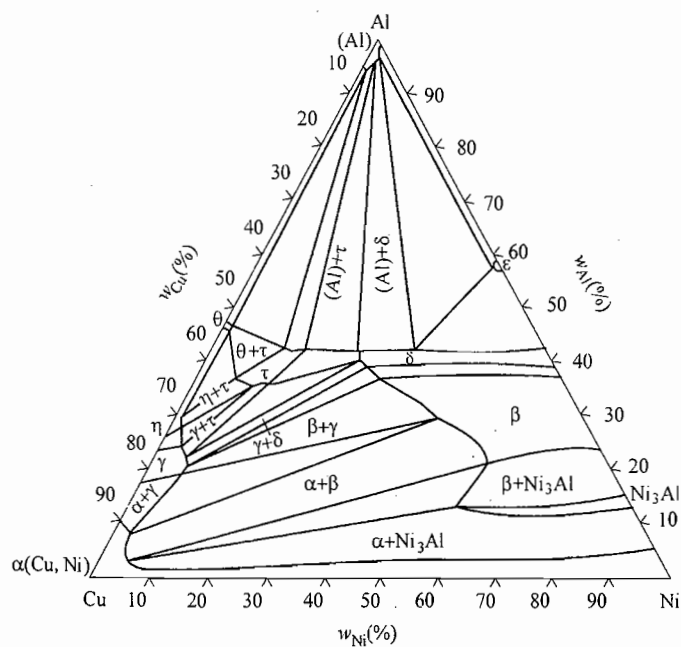


图 41-2 第六题图

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

五、

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

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

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

标准答案

一、

1. 分别如图 41-3a 和图 41-3b 所示。

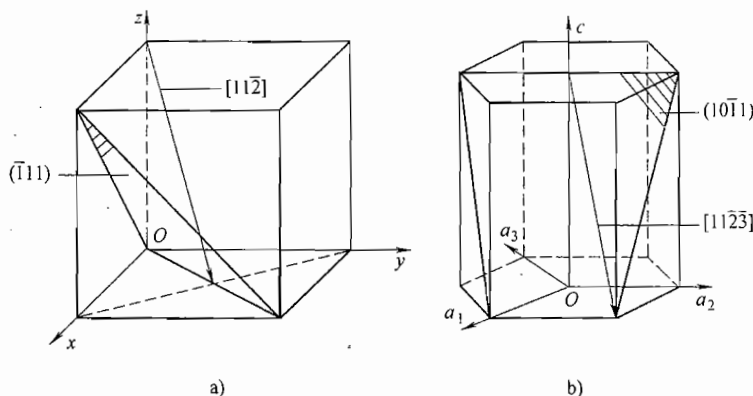


图 41-3 第一题第 1 小题解答图

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

3. $(\bar{1}11)$ $[101]$ 。

4. $(1\bar{1}1)$ $[\bar{1}01]$ 。

二、

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

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

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

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

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

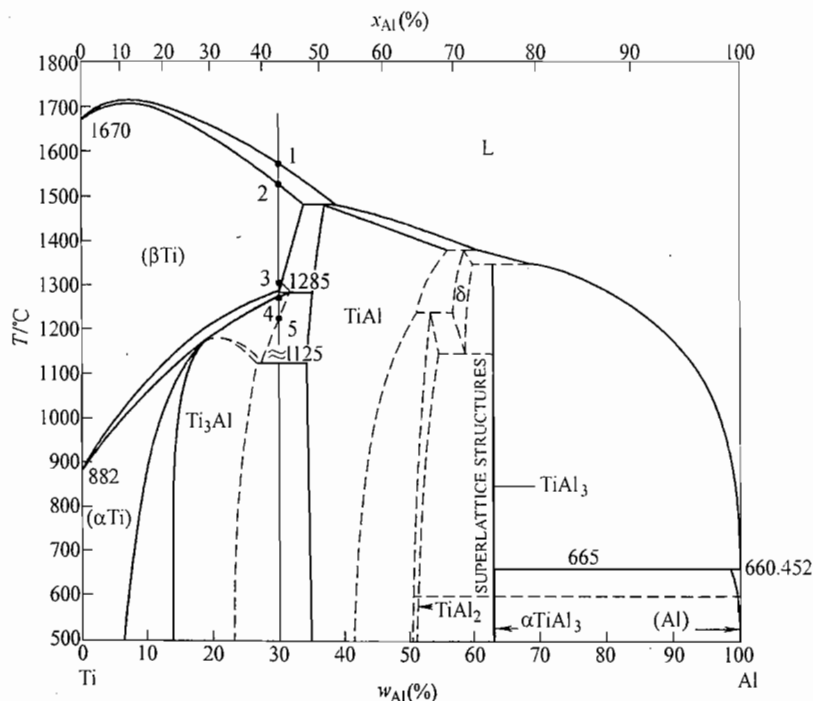


图 41-4 第二题第 2 小题解答图

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

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

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

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

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

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

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

三、

1. 一次渗碳体, 共晶渗碳体, 二次渗碳体, 共析渗碳体, 三次渗碳体。

2.

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

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

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

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

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

3.

(1) 一次渗碳体: 规则条状, 粗大, 分布在莱氏体基体上。

(2) 共晶渗碳体: 作为莱氏体的连续基体。

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

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

(5) 三次渗碳体: 不连续的颗粒状, 少量, 分布在铁素体晶界处。

4.

(1) 一次渗碳体: 提高硬度但降低韧性。

(2) 共晶渗碳体: 提高硬度但降低韧性。

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

(4) 共析渗碳体: 提高硬度和强度但降低韧性。

(5) 三次渗碳体: 提高硬度和强度但降低韧性。

四、

1. 金属材料在塑性变形过程中, 所施加的流变应力随应变量的增大而不断

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

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

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

五、

1. 如图 41-5 所示。

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

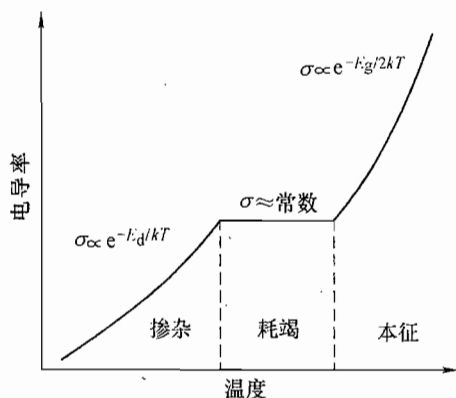


图 41-5 第五题第 1 小题解答图

六、

1. 如图 41-6 所示。

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

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

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

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

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

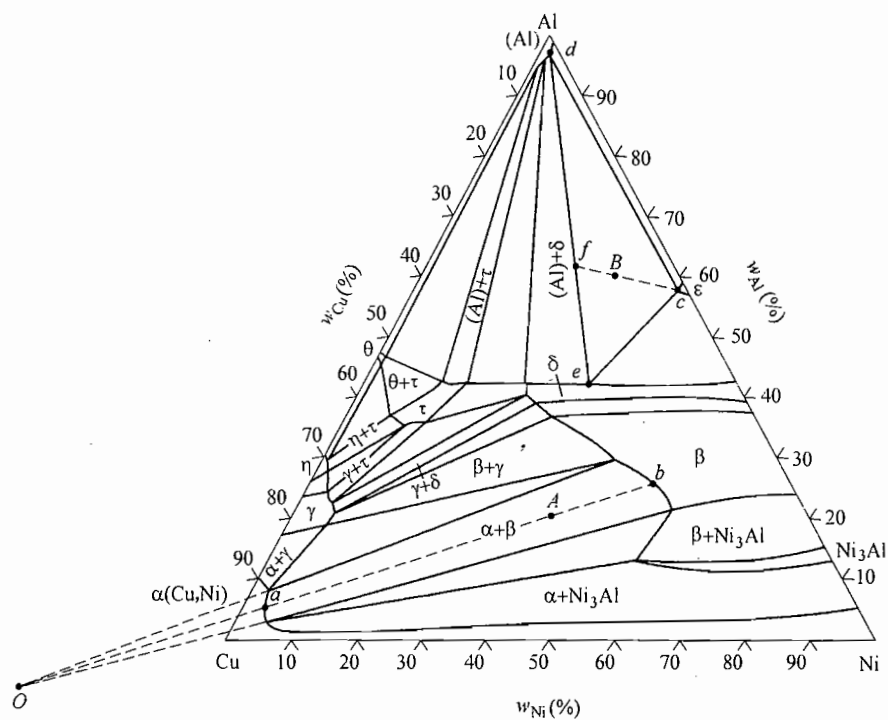


图 41-6 第六题解答图

试卷四十二

2003 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料科学与工程

一、术语解释（共 15 分，每题 3 分）

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

二、判断题（31 分）

1. (7 分) 图 42-1 为两种材料中原子结合的键能曲线，回答：

(1) 哪种材料的弹性模量大？

(2) 哪种材料的热膨胀系数大？

(3) 依据图 42-1，示意画出两种材料的键力曲线。

2. (6 分) 判断下列物质的主要结合键

CaO SiC GaAs Cu₃Al

* 离子键的相对比值可参考公式：

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

式中， x_A 、 x_B 分别为 A、B 元素的电负性。

以下为相关元素的电负性值：

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

3. (6 分) 计算下列化合物中阳离子的配位数

MgO Cr₂O₃ CaF₂ K₂O

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

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

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

铸模：

金属模

砂模

模子温度：

预热

不预热

浇注温度：

提高

降低

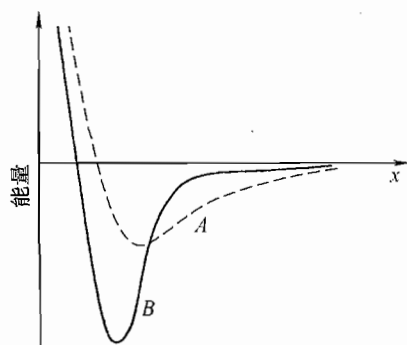


图 42-1 第二题第 1 小题图

5. (6分) 判断下列说法是否正确:

- (1) 冷变形金属经回复退火后, 其力学性能可以恢复到变形前的状态。
- (2) 再结晶是一个成核及核心长大的过程, 因此它是一种相变过程。
- (3) 再结晶核心长大伴随着晶界的移动, 故其驱动力为晶界能。
- (4) 晶体中的点缺陷是一种热力学平衡缺陷, 而位错不是热力学平衡缺陷。
- (5) 刃位错可以发生交滑移。
- (6) 金属的热(变形)加工与冷(变形)加工是以变形加工的温度高低来区别的。

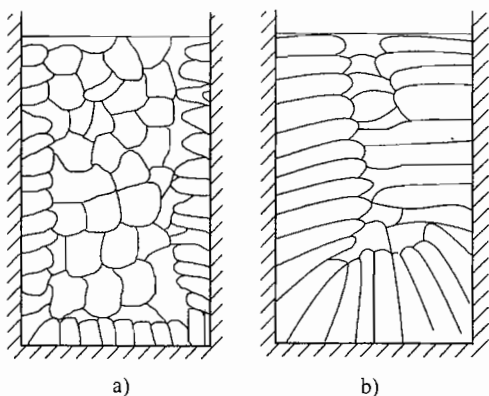


图 42-2 第二题第 4 小题图

三、(44分) 问答题

1. (3分) 固体中原子的扩散必须具备哪些基本条件?

2. (9分)

- (1) 扩散可以分为哪几种基本类型?
- (2) 在间隙固溶体中及置换固溶体中, 溶质原子各以何种机制进行扩散?
- (3) 均匀奥氏体晶粒的长大以及扩散退火时晶内偏析的均匀化各属何种类型的扩散?

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

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

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

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

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

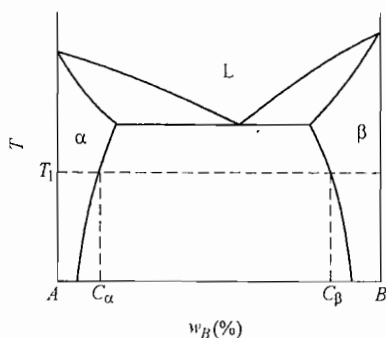


图 42-3 第三题第 3 小题图

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

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

5. (5分) 本征半导体与掺杂半导体的导电机制有何不同?

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

7. (3分) 金属材料、陶瓷材料及高分子材料各是以何种机制导热的?

四、(30分) 相图

1. (5分) 写出二元系相图中所有可能的三相平衡反应的名称及反应式。

2. (15分) Fe-Fe₃C 相图:

(1) 画出 Fe-Fe₃C 相图, 并用组织组成物填写相图。

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

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

3. (10分) 三元相图:

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

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

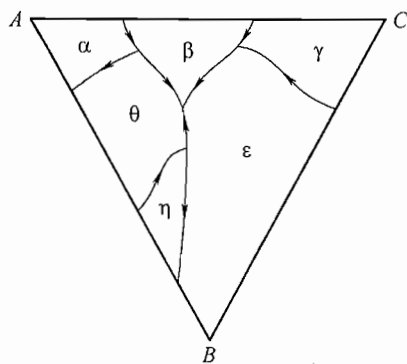


图 42-4 第四题第 3 小题第 (1) 题图

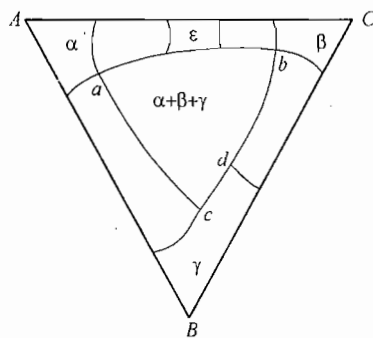


图 42-5 第四题第 3 小题第 (2) 题图

五、(20分) 位错

1. 自发的位错反应必须满足哪些条件?

2. 何谓扩展位错? 请写一例。

3. 有一方框形位错 (如图 42-6) 处于滑移面 π 上

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

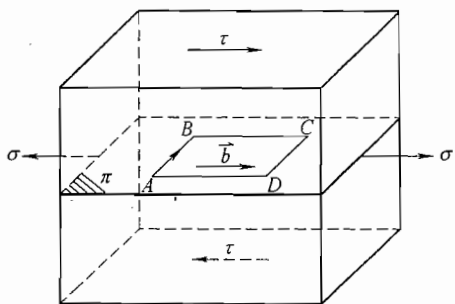


图 42-6 第五题第 3 小题图

六、(10 分) 晶体结构

1. 在立方晶系的一个晶胞内画出 (110) 和 (112) 晶面, 并写出两晶面交线的晶向指数 (交线的方向自定)。

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

标准答案

一、

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

二、

1.

- (1) B 。
- (2) A 。
- (3) 见图 42-7。

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

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

4. 铸模: 金属模; 模子温度: 不预热; 浇注温度: 提高。

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

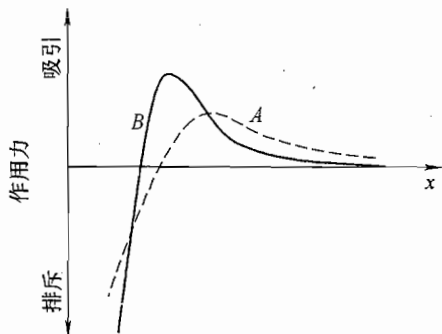


图 42-7 第二题第 1 小题第 (3) 题解答图

三、

1. 固体中原子的扩散必须存在化学位梯度。

2.

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

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

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

3.

(1) 见图 42-8。

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

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

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

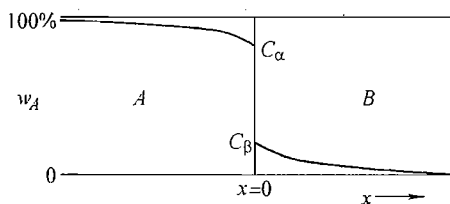


图 42-8 第三题第 3 小题第 (1) 题解答图

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

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

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

四、

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

2.

(1) 略。

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

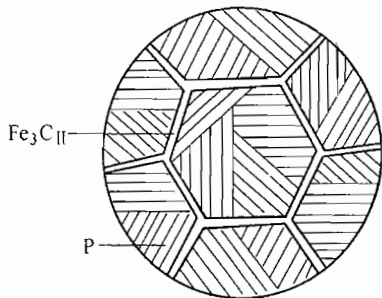


图 42-9 第四题第 2 小题

第 (2) 题解答图

组织示意图见图 42-9。

(3) 相组成物的质量分数:

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

组织组成物的质量分数:

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

3.

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

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

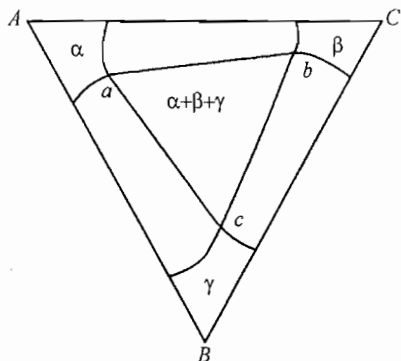


图 42-10 第四题第 3 小题

第 (2) 题解答图

五、

1. 几何条件和能量条件。

2. 两个不全位错及夹在它们之间的一片层错所组成的位错组态。如面心立

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

3.

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

(2) 垂直于位错线向位错环外方向滑移运动。

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

六、

1. 见图 42-11。

2. 见图 42-12。

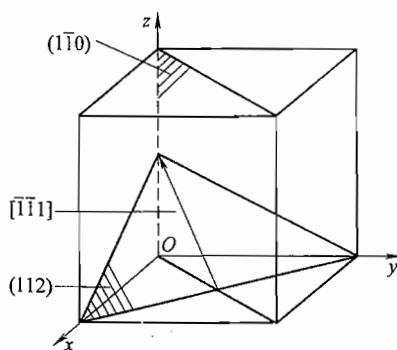


图 42-11 第六题第 1 小题解答图

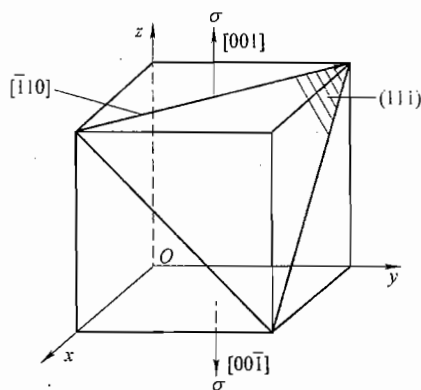


图 42-12 第六题第 2 小题解答图

试卷四十三

2004 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料科学与工程

说明：第一题必做，其余六题中任选五题，多做以得分较低者计
分。

一、(50 分) 填空

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

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

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

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

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

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

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

加工成形的零构件, 成形后应及时进行 (47) 退火, 以去除 (48), 防止零构件在使用中 (49) 或 (50)。

二、(20 分)

1. (10 分) 在立方晶胞内画出 $(1\bar{2}1)$ 、 $(\bar{1}22)$ 晶面, 以及 $[01\bar{2}]$ 、 $[110]$ 、 $[20\bar{1}]$ 晶向。

2. (4 分) 写出图 43-1 所示六方晶胞内 $ABCD$ 晶面的密勒-布拉菲晶面指数, 以及 \overrightarrow{AB} 、 \overrightarrow{BC} 、 \overrightarrow{CD} 晶向的密勒-布拉菲晶向指数。

3. (6 分) 写出面心立方晶体中所有可能的滑移系。

三、(20 分) Fe-Ti 二元合金相图如图 43-2 所示。

1. (4 分) 填出图中两相区中存在的相。

2. (4 分) 写出 595°C 、 1085°C 、 1289°C 、 1317°C 的三相恒温反应的名称和反应式。

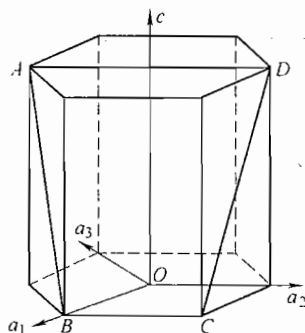


图 43-1 第二题第 2 小题图

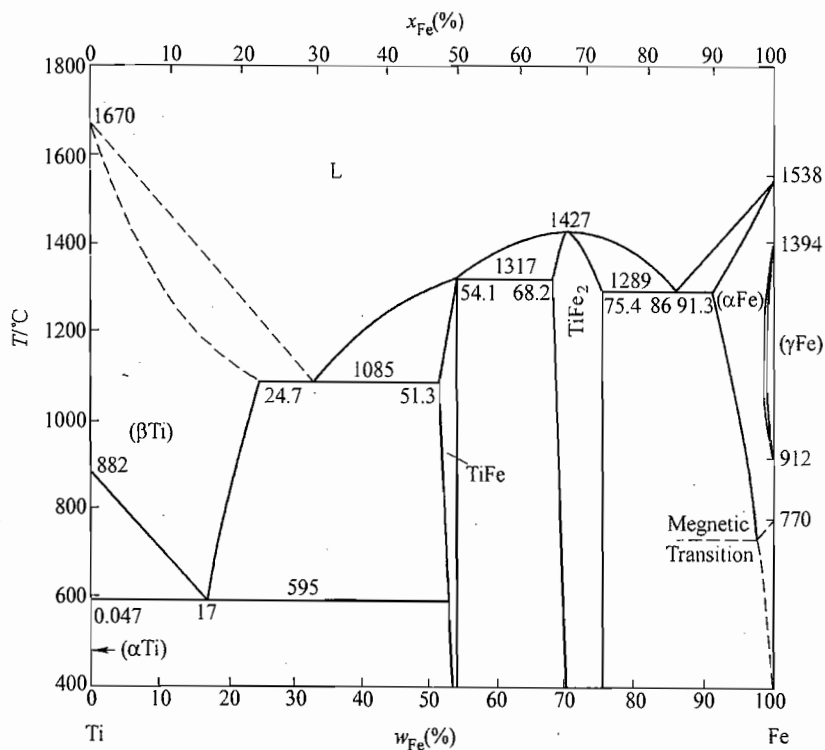


图 43-2 第三题图

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

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

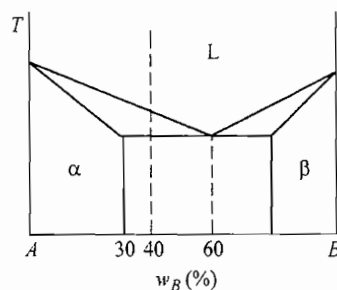


图 43-3 第四题图

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

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

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

3. (5分) 该棒单相 α 固溶体段是否会生长成树枝晶? 为什么?

五、(20分)

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

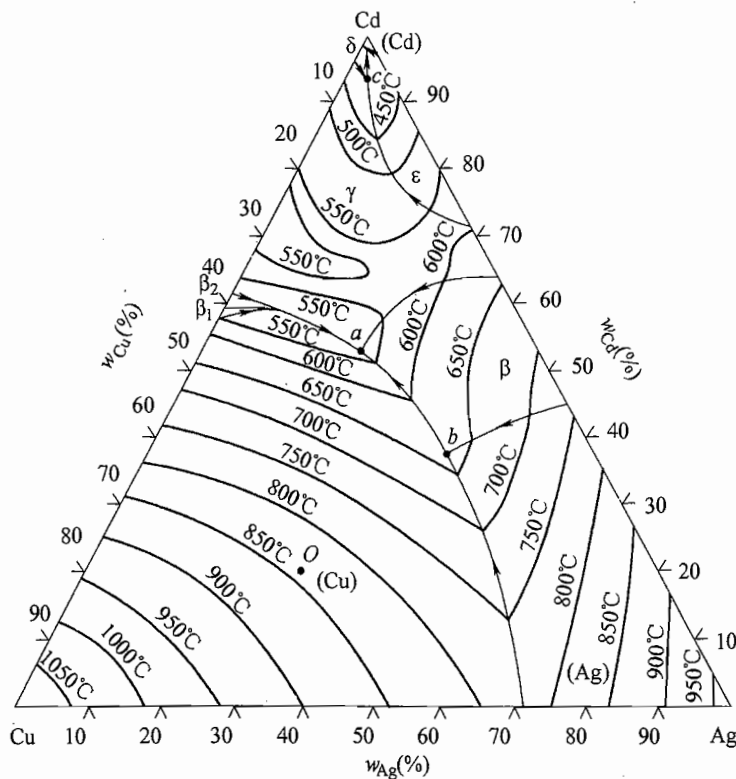


图 43-4 第五题第 1 小题图

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

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

二、

1. 见图 43-6。

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

\overline{BC} : $[\bar{1}2\bar{1}0]$; \overline{CD} : $[\bar{2}113]$ 。

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

三、

1. 见图 43-7。

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

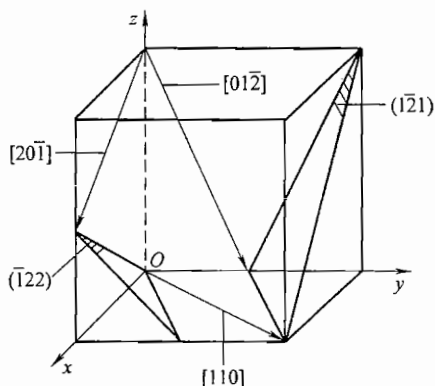


图 43-6 第二题第 1 小题解答图

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

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

相组成物的质量百分数:

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

组织组成物的质量百分数:

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

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

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

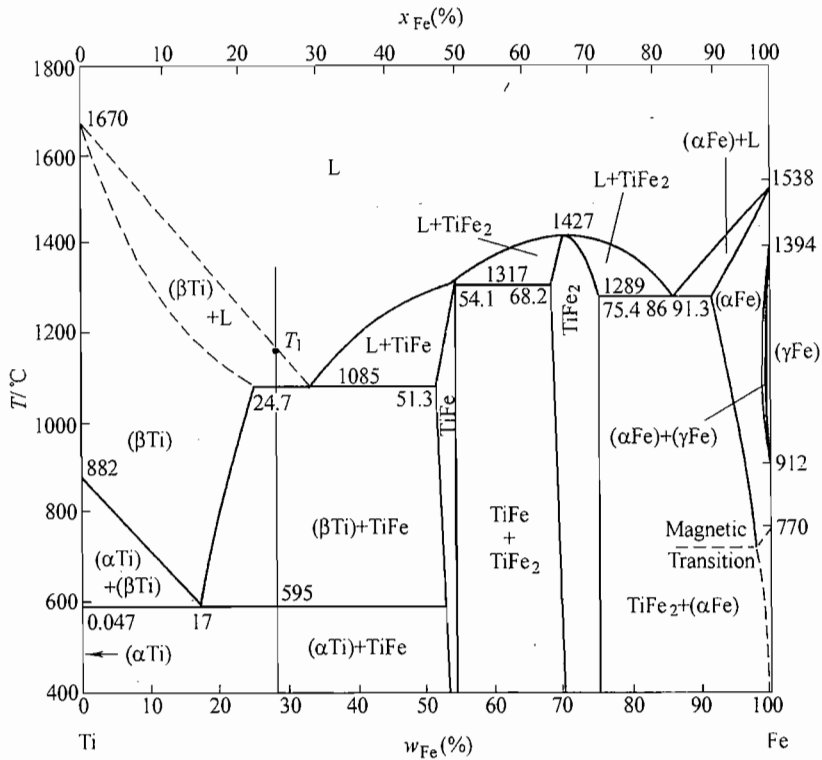


图 43-7 第三题解答图

四、

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

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

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

解法一 (积分法):

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

解法二 (面积相等法):

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

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

得 $\overline{w_B} = 24\%$

解法三 (杠杆原理法):

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

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

得 $\overline{w_B} = 24\%$

解法四 (质量守恒法):

根据溶质原子质量守恒原理, 可列方程式

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

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

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

五、

1. O 合金的成分: 50% Cu - 20% Cd - 30% Ag。

O 合金的熔点: $\approx 840^\circ\text{C}$;

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

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

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

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

2. 如图 43-9 所示。

F 点: $\beta + \gamma$, 其中

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

G 点: $L + \epsilon + \epsilon'$, 其中

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

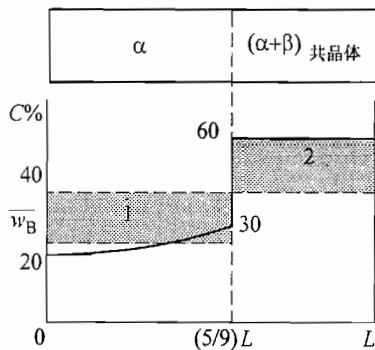


图 43-8 第四题解答图



图 43-9 第五题第 2 小题解答图

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

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

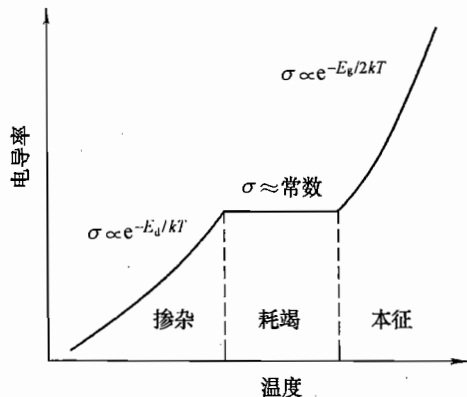


图 43-10 第七题解答图

试卷四十四

2005 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料科学与工程

一、(15 分)

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

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

(1) 写出晶体的始滑移系统，并表示在立方晶胞中；

(2) 写出晶体的交滑移系统，以及晶体的双滑移系统。

二、(25 分) 三元合金的四相平衡平面如图 44-1 所示。

1. 写出该四相反应的名称及反应式。

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

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

4. 合金 o 在四相反应中生成什么相？
计算所生成相在合金中的相对量。

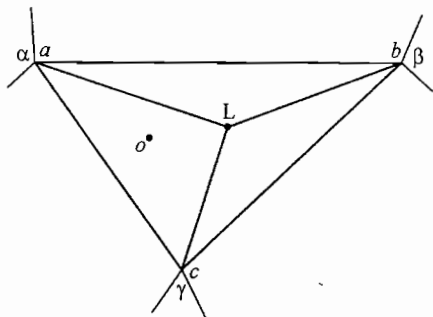


图 44-1 第二题图

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

1. 求临界晶核边长 a^* 的表达式。

2. 求临界晶核形成功 ΔG^* 的表达式。

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

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

五、(30 分) Co-Sb 平衡相图如图 44-2 所示。

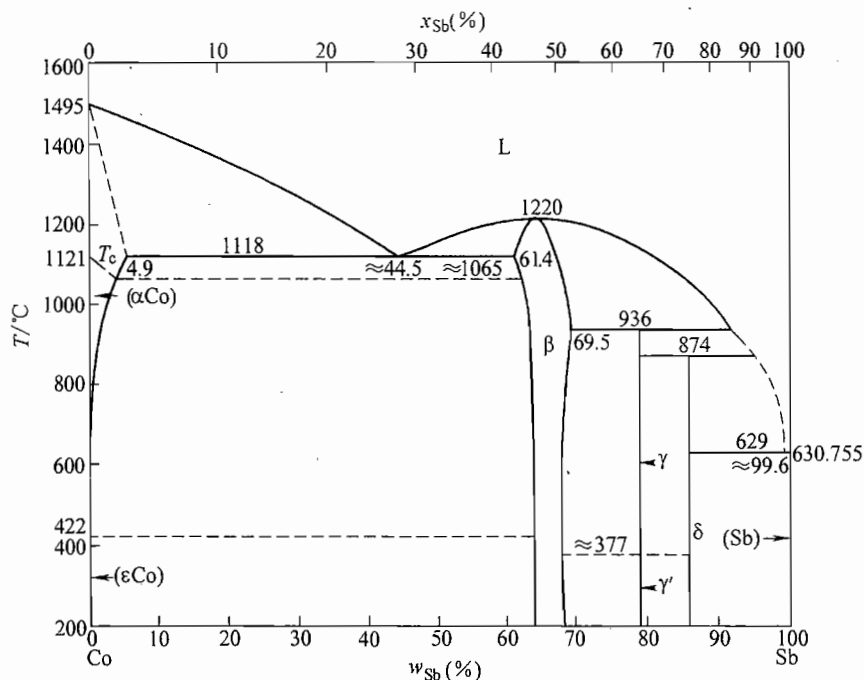


图 44-2 第五题图

1. 写出图中 1118℃、≈1065℃、936℃、874℃、629℃、422℃、≈377℃ 水平线的名称。

2. 写出图中固态单相的相结构类型，并写出其中化合物的化学式。

3. 写出 $w_{\text{Sb}} = 90\%$ 的合金在 200℃ 时的平衡相，并计算相组成物的相对量。

4. 写出 $w_{\text{Sb}} = 90\%$ 的合金在 200℃ 时的平衡组织，并计算组织组成物的相对量。

六、(20 分)

1. 结合 σ - ϵ 曲线，说明退火态低碳钢的屈服现象和应变时效现象。

2. 用位错理论解释上述现象。

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

标准答案

一、

1. 如图 44-3 所示。

2.

(1) $(111) [10\bar{1}]$, 如图 44-4 所示。

(2) 交滑移系: $(1\bar{1}1) [10\bar{1}]$;

双滑移系: $(111) [10\bar{1}]$ 和 $(1\bar{1}\bar{1}) [110]$ 。

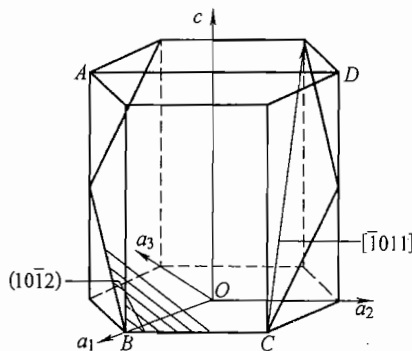


图 44-3 第一题第 1 小题解答图

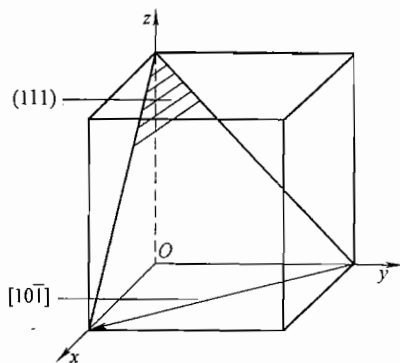


图 44-4 第一题第 2 小题解答图

二、如图 44-5 所示。

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

2. 相组成物: $\gamma + L + \alpha$, 其中

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

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

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

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

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

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

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

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

三、

1. 形核时的自由能变化为

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

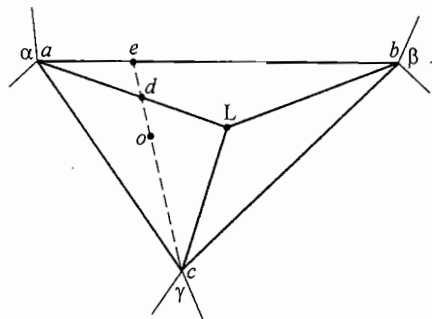


图 44-5 第二题解答图

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

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

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

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

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

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

则合金的流动性越差，缩孔越易呈分散分布。成分过冷的条件为： $\frac{G}{R} <$

$\frac{-mC_0(1-k_0)}{Dk_0}$ ，其中， G 为液/固界面前沿液体中的实际温度梯度， R 为液/固

界面推移的速度， D 为溶质原子在液相中的扩散系数， m 为合金相图中液相线的斜率， C_0 为合金的成分， k_0 为合金的平衡分配系数。可以证明，上式中的

$\frac{-mC_0(1-k_0)}{k_0}$ 就是 C_0 合金在其相图中液/固相线间的垂直距离。显然，液/固

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

五、

1. 1118℃：共晶反应线。

≈1065℃：磁性转变线。

936℃：包晶反应线。

874℃：包晶反应线。

629℃：共晶反应线。

422℃：同素异构（多晶型）转变线。

≈377℃：有序-无序转变线。

2. (ϵ Co)、(α Co)、(Sb) 皆为置换固溶体。

β : CoSb 。

γ 和 γ' : CoSb_2 。

δ : CoSb_3 。

3. 平衡相: $\delta + (\text{Sb})$, 其中,

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

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

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

六、

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

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

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

试卷四十五

2006 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础
适用专业：材料科学与工程

一、(15 分) 分别写出图 45-1 所示 5 种晶体所属的晶体点阵。

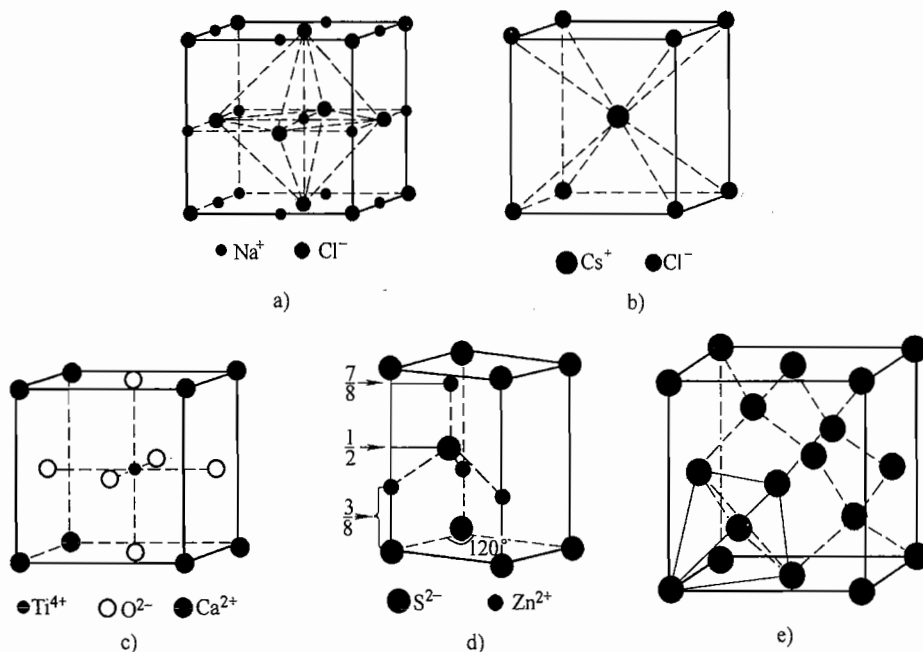


图 45-1 第一题图

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

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

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

三、(30 分) 判断下列命题正确与否

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

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

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

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

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

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

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

1. 示意画出工件表面至心部的碳质量分数分布曲线, 在所画曲线图中填写出相应的相组成物。

2. 说明碳质量分数按照上述曲线分布的原因。

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

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

标准答案

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

二、

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

2. 见图 45-2。

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

四、

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

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

五、

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

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

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

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

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

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

3. 见图 45-3。

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

六、

1. 见图 45-4。

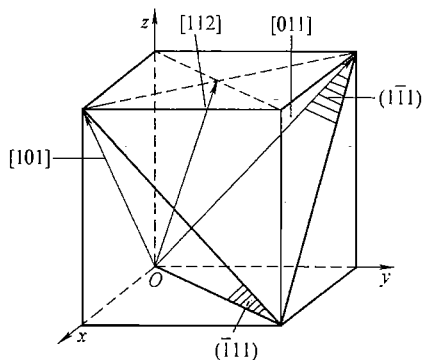


图 45-2 第二题第 2 小题解答图

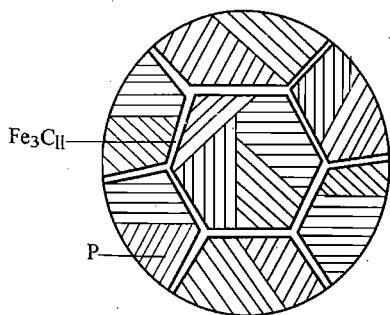


图 45-3 第五题第 3 小题解答图

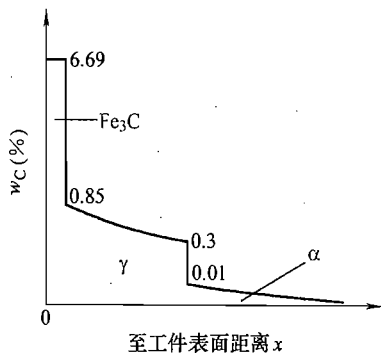


图 45-4 第六题第 1 小题解答图

2. 二元合金扩散时会发生反应扩散，且扩散层中不会存在两相共存区。

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

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

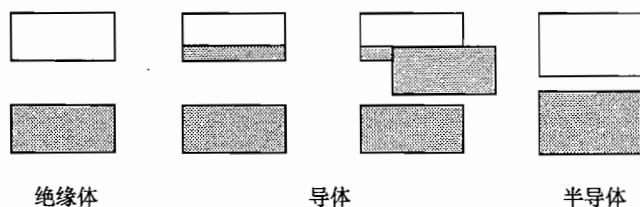


图 45-5 第八题解答图