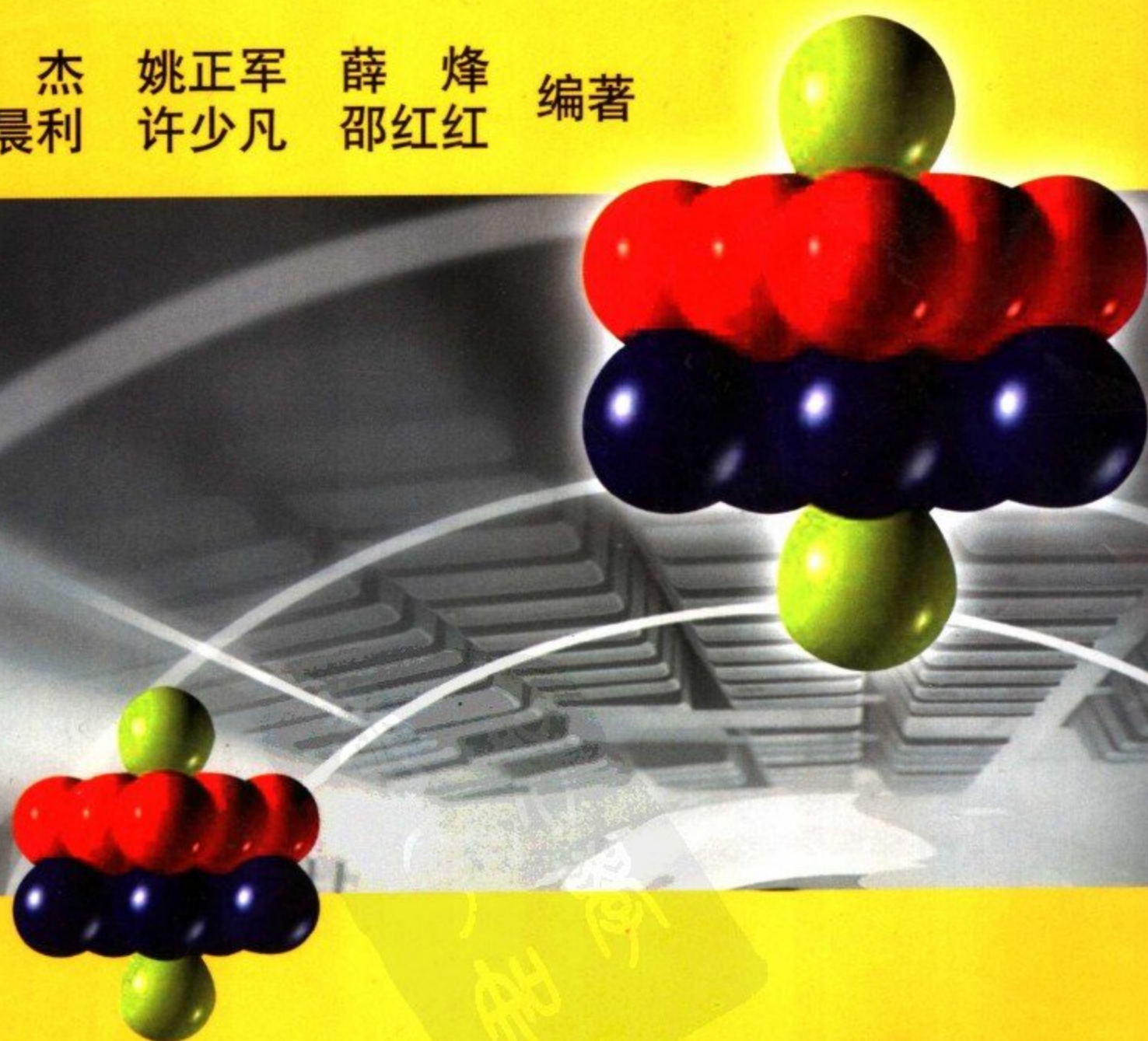


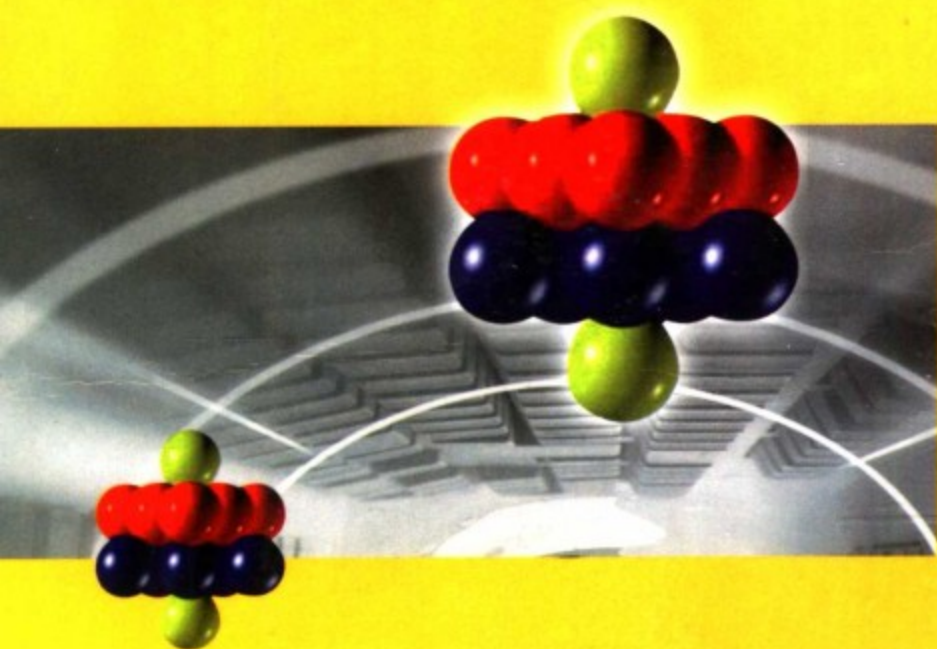
高 等 学 校 教 材
GAODENG XUEXIAO JIAOCAI

材料科学基础 全真试题及解析

● 陶 杰 姚正军 薛 烽 编著
● 宫晨利 许少凡 邵红红



化学工业出版社
教材出版中心



材料科学与工程系列教材

材料概论

材料科学与工程基础

Fundamentals of Materials Science and Engineering (影印)

材料结构表征及应用

材料科学与工程专业英语

材料科学基础

材料科学基础全真试题及解析

材料工程基础

材料物理化学

材料现代分析测试

材料成型界面工程

计算材料科学

材料工艺学

固体物理基础教程

材料固态相变与扩散

先进材料成型技术及理论

Excel 在材料中的应用

材料成型加工工艺及设备

ISBN 7-5025-9118-4



9 787502 591182 >



www.cip.com.cn
读科技图书 上化工社网

ISBN 7-5025-9118-4

定价: 22.00元

高等学校教材

材料科学基础全真试题及解析

陶 杰 姚正军 薛 烽 编著
宫晨利 许少凡 邵红红



化学工业出版社
教材出版中心

· 北 京 ·

本书为高等学校教材，与《材料科学基础》互为配套教材。全书共分为三部分，第一部分为《材料科学基础》（上），主要包括晶体学基础、固体材料的结构、凝固、相图和固态相变的基础原理等方面的试题及答案。第二部分为《材料科学基础》（下），主要包括固体中的扩散、晶体缺陷、材料表面与界面、金属材料的变形与再结晶以及非金属材料的应力-应变行为与变形机制等方面的试题及答案。第三部分为南京航空航天大学、东南大学、合肥工业大学和江苏大学四所高校近三年硕士研究生入学考试试题及参考答案。另在文后列出相关知识附录，以便师生查阅参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

材料科学基础全真试题及解析/陶杰，姚正军，薛烽等
编著. —北京：化学工业出版社，2006.7

高等学校教材

ISBN 7-5025-9118-4

I. 材… II. ①陶…②姚…③薛… III. 材料科学-
高等学校-解析 IV. TB3-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 083916 号

高等学校教材

材料科学基础全真试题及解析

陶 杰 姚正军 薛 烽 编著
宫晨利 许少凡 邵红红

责任编辑：杨 菁

文字编辑：李 玥

责任校对：蒋 宇

封面设计：于 兵

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询：(010)64982530

(010)64918013

购书传真：(010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 12½ 彩插 1 字数 323 千字

2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-9118-4

定 价：22.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者，本社发行部负责退换

前 言

化学工业出版社于2006年3月出版了陶杰、姚正军和薛烽等教授编著的《材料科学基础》，为配合该课程的教学需要，并应广大学生的要求，由南京航空航天大学、东南大学、合肥工业大学和江苏大学等高校老师结合多年教学实践，参考和吸收了国内外许多相关材料，编著了近三年来课程考试试题以及研究生入学考试试题，并对试题给予了详细解析，突出了知识要点，为学生们在课程学习时掌握基本概念、基本理论和知识难点，提高分析问题解决问题的能力尤其是理论联系实际的能力，将提供有益的帮助。为保持各校试题的原貌和完整性，在编著本书时对部分重复的试题和内容未作改动。同时，也说明这部分内容十分重要，因为它们引起了各校老师的高度关注。

本书可供材料科学与工程类和冶金类专业师生，以及从事科研、教学、生产等方面的科研技术人员参考，也可作为报考材料科学与工程类和冶金类学科研究生复习思考的辅导材料。

全书共分三部分，第一部分为《材料科学基础》（上），主要包括晶体学基础、固体材料的结构、凝固、相图和固态相变的基本原理；第二部分为《材料科学基础》（下），主要包括固体中的扩散、晶体缺陷、材料表面与界面、金属材料的变形与再结晶以及非金属材料的应力-应变行为与变形机制；第三部分为南京航空航天大学、东南大学、合肥工业大学和江苏大学四所高校近三年硕士研究生入学考试试题及参考答案。本书在编著过程中，得到了东南大学孙扬善教授、合肥工业大学吴玉程教授、江苏大学赵玉涛教授的大力帮助和支持，在此谨致诚挚的感谢！

由于编著者水平有限，书中难免存在缺点和错误，敬请读者批评指正。

编著者

2006年6月于南京



目 录

第一部分 《材料科学基础》(上)

试题一	1
试题二	2
试题三	3
试题四	4
试题五	5
试题六	7
试题七	8
试题八	9
试题九	11
试题十	12
试题十一	16
试题十二	20
解析	25

第二部分 《材料科学基础》(下)

试题一	62
试题二	64
试题三	66
试题四	69
试题五	71
试题六	74
试题七	74
试题八	75
试题九	76
试题十	79
试题十一	82
解析	86

第三部分 硕士研究生入学考试试题及参考答案

南京航空航天大学 2004 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	110
南京航空航天大学 2005 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	111
南京航空航天大学 2006 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	112
东南大学 2004 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	114
东南大学 2005 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	120

东南大学 2006 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	124
合肥工业大学 2004 年攻读硕士学位研究生考试试题	129
合肥工业大学 2005 年攻读硕士学位研究生考试试题	131
合肥工业大学 2006 年攻读硕士学位研究生考试试题	133
江苏大学 2004 年硕士研究生入学考试试题	135
江苏大学 2005 年硕士研究生入学考试试题	136
江苏大学 2006 年硕士研究生入学考试试题	138
南京航空航天大学 2004 年硕士研究生入学考试参考答案	139
南京航空航天大学 2005 年硕士研究生入学考试参考答案	143
南京航空航天大学 2006 年硕士研究生入学考试参考答案	148
东南大学 2004 年硕士研究生入学考试参考答案	153
东南大学 2005 年硕士研究生入学考试参考答案	156
东南大学 2006 年硕士研究生入学考试参考答案	159
合肥工业大学 2004 年硕士研究生入学考试参考答案	162
合肥工业大学 2005 年硕士研究生入学考试参考答案	165
合肥工业大学 2006 年硕士研究生入学考试参考答案	168
江苏大学 2004 年硕士研究生入学考试参考答案	171
江苏大学 2005 年硕士研究生入学考试参考答案	173
江苏大学 2006 年硕士研究生入学考试参考答案	174
附录	178
参考文献	192



第一部分

《材料科学基础》(上)

(晶体学基础、固体材料的结构、凝固、相图和固态相变的基本原理)

试 题 一

一、名词解释 (每小题 2 分, 共 12 分)

1. 金属间化合物 2. 过冷度 3. 相变 4. 成分过冷 5. 马氏体 6. 微观偏析

二、简答题 (每题 5 分, 共 50 分)

1. 底心立方是不是一种独立的布拉菲点阵, 为什么?

2. β -黄铜为体心立方结构 (顶角为锌原子、中心为铜原子), 如果铜原子和锌原子的半径分别为 0.13nm 和 0.14nm, 试估算其密度 (已知铜与锌的相对原子质量分别为 63.54 及 65.38, $N_0 = 6.023 \times 10^{23}$)。

3. 简述贝氏体转变的基本特征。

4. 金属的固态相变主要有哪几种基本变化?

5. 陶瓷材料一般由哪些相组成?

6. 简述金属玻璃的性能特点?

7. 绘制一个二元匀晶相图, 在其两相区任一温度画一水平线, 并做出在该温度下的自由能-成分曲线 (即 $G-X$ 曲线)。

8. 简述金属结晶过程的条件。

9. 比较平衡冷却状态的 45 钢 (0.45% C) 与 T8 钢 (0.77% C) 的硬度与塑性, 简述原因?

10. 常见单晶材料的制备方法分为哪几种?

三、作图表示立方晶体的 $(12\bar{3})$ 、 $(0\bar{1}2)$ 晶面及 $[\bar{1}02]$ 、 $[\bar{2}11]$ 晶向。(6 分)

四、假设液体在凝固时形成的临界晶核是边长为 a 的立方体形状, 求均匀形核时临界晶核边长 a^* 和临界成核功 ΔG^* (注: 单位面积表面能用 σ 表示, 单位体积固相与液相的自由焓差值用 ΔG_v 表示)。(8 分)

五、1. 画出 Fe-Fe₃C 相图, 并标注各点温度和成分。(8 分)

2. 计算含碳 0.2% 的碳钢在室温下的组织相对含量和相的相对含量, 并画出在室温下平衡组织示意图, 并在图中表明组织名称。(8 分)

六、设 A、B、C 三元共晶相图中, α 、 β 、 γ 三种固溶体分别是以组元 A、B、C 为溶剂的, $T_A > T_B > T_C$, $E_{AB} > E_{AC} > E_{BC}$ (注: T_A 为组元 A 的熔点, E_{AB} 为组元 A、B 的共晶点, 其余类推)。

1. 画出 $T = E_{AB}$ 时的水平截面图。(4 分)

2. 根据综合投影图 (图 1), 写出 I、II、III、IV 区域内的合金的室温下组织。(4 分)

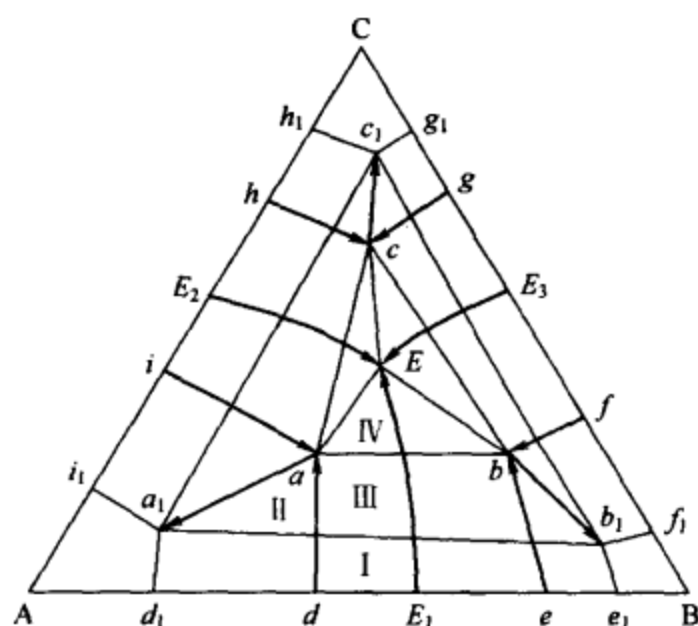


图 1

试 题 二

一、名词解释 (每小题 2 分, 共 12 分)

1. 固溶体 2. 热分析法 3. 相 4. 定向凝固 5. 贝氏体转变 6. 偏析

二、简答题 (每题 5 分, 共 50 分)

1. 体心单斜是一种新点阵吗? 为什么?
2. 纯铝晶体为面心立方点阵, 已知铝的相对原子质量为 26.97, 原子半径为 0.143nm, 求铝晶体的密度 (已知铝的相对原子质量分别为 26.97, $N_0 = 6.023 \times 10^{23}$)。
3. 马氏体转变的基本特征。
4. 简述扩散型相变的一般特征。
5. 陶瓷材料的组成相有哪些?
6. 试比较热塑性塑料与热固性塑料的性能特点?
7. 根据凝固理论, 简述细化晶粒的基本途径。
8. 在高聚物大分子链中有哪些热运动单元? 这些热运动单元与高聚物宏观性能有何关联?
9. 铸锭最外层组织有何特点? 简述形成的原因。
10. 简述高分子化合物的基本性质?

三、画出立方晶系中的 $(3\bar{1}2)$ 晶面和 $[13\bar{2}]$ 晶向。(6 分)

四、证明均匀形核的临界形核功 $\Delta G^* = -\frac{1}{2}V^* \Delta G_v$ (注: 单位面积表面能用 σ 表示, 单位体积固相与液相的自由焓差值用 ΔG_v 表示)。(8 分)

五、1. 画出 Fe-Fe₃C 相图, 并标注各点温度和成分。(8 分)

2. 计算含碳 1.0% 的碳钢在室温下的组织相对含量和相的相对含量, 并画出在室温下平衡组织示意图, 并在图中标明组织名称。(8 分)

六、图 1 是 Al-Cu-Mg 三元系液相面投影图。图中 α 是以铝为溶剂的固溶体, θ 、 β 分别以 Al-Cu、Al-Mg 二元化合物为基的固溶体, S、T 分别是以 Al-Cu-Mg 三元化合物为基的固溶体。试写出 E_T 、 E_U 、 P_1 、 P_2 四相平衡转变式。(8 分)

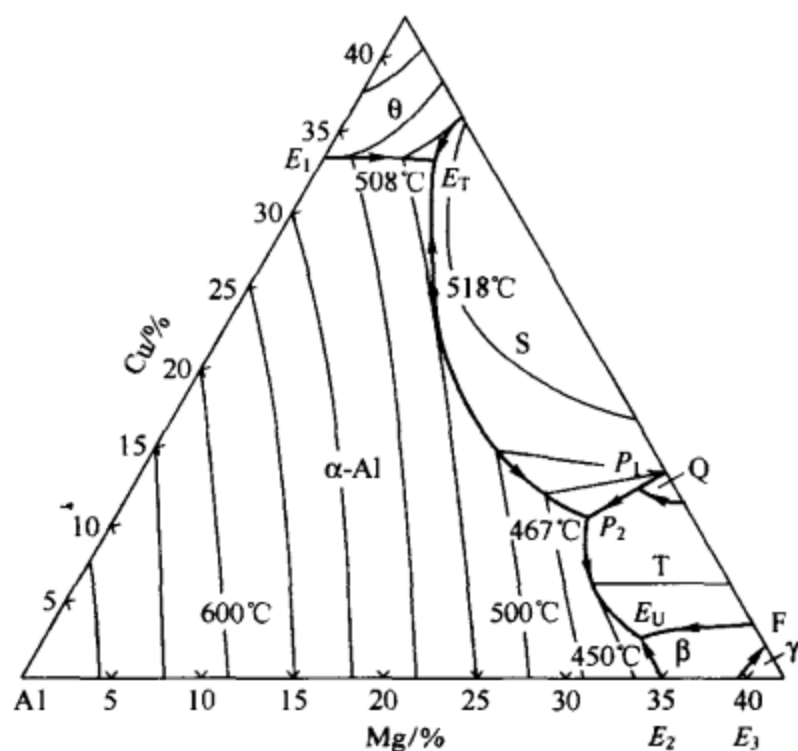


图 1

试 题 三

一、名词解释 (4 分, 每小题 2 分)

1. 相
2. 固溶强化

二、简答题 (67 分)

1. 什么是空间点阵? 它和晶体点阵是什么关系? (2 分)
2. 布拉菲点阵一共有多少种? 它们分属于哪几大晶系? 铜属于哪种布拉菲点阵? (4 分)
3. 写出立方晶系中属于 $\{110\}$ 的所有晶面。 (3 分)
4. 画出立方晶系中具有下列密勒指数的晶面和晶向: $(\bar{3}01)$ 、 $(13\bar{2})$ 晶面和 $[20\bar{1}]$ 、 $[\bar{1}2\bar{2}]$ 晶向。 (4 分)
5. 点阵平面 (110) 、 (311) 和 (132) 是否属于同一晶带? 若是的话, 试指出其晶带轴, 另外再指出属于该晶带的任一其他点阵平面; 若不是的话, 为什么? (3 分)
6. 晶体的宏观对称元素有哪几种? 并画图示意其中一种。 (3 分)
7. 在 (001) 标准投影图中, 其基圆上所代表的晶面指数有何特点, 并给予解释。 (3 分)
8. 金属为什么具有良好的塑性? (3 分)
9. 铁的点阵常数是 2.86\AA ($1\text{\AA}=0.1\text{nm}$), 相对原子质量是 55.84, 试用阿伏伽德罗常数 (6.023×10^{23}) 计算其密度。 (4 分)
10. 什么是固溶体? 它是如何分类的? (5 分)
11. 组元的晶体结构如何影响置换固溶体的溶解度? (3 分)
12. 为什么中间相的性能一般是硬而脆明显不同于各组元的性能? (3 分)
13. 根据鲍林第一规则, 离子晶体结构可视为由负离子配位多面体按一定方式连接而成, 正离子则处于负离子多面体的中央。请画出组成 NaCl 离子晶体结构的负离子配位多面体。 (3 分)
14. 请描述刚玉的晶体结构及其特征。 (3 分)

15. 什么是大分子链的柔性？影响大分子链的柔性有哪些因素？（4分）

16. 如何理解高聚物分子量的多分散性？高聚物的平均分子量及分子量分布宽窄对高聚物性能有何影响？（4分）

17. 怎样理解晶态高聚物的结构？（3分）

18. 能否说明过冷度 ΔT 越大，相变的形核率就越大，为什么？（3分）

19. 什么是成分过冷？它对液-固界面的形貌有何影响？（4分）

20. 铸锭中常见的缺陷有哪些？（3分）

三、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。（4分）

四、1. 画出 Fe-Fe₃C 组织区分图，并写出各关键点的温度及习惯标注的字母，表明各相区。（6分）

2. 画出含碳 1.2% 的铁碳合金的冷却曲线和室温下组织示意图，并计算在室温下各组织组成物比例是多少？（4分）

3. 在 Fe-Fe₃C 相图中，画出 727℃ 时各相的自由能-成分曲线。（2分）

五、在三元合金相图中，常见的四相平衡转变有哪几种类型？并写出各四相平衡转变的反应式及其转变前后的三相平衡反应式。（9分）

六、Al-Cu-Mg 三元系液相面投影图的富 Al 部分如图 1 所示，写出该三元系中的所有四相平衡转变反应式。（4分）

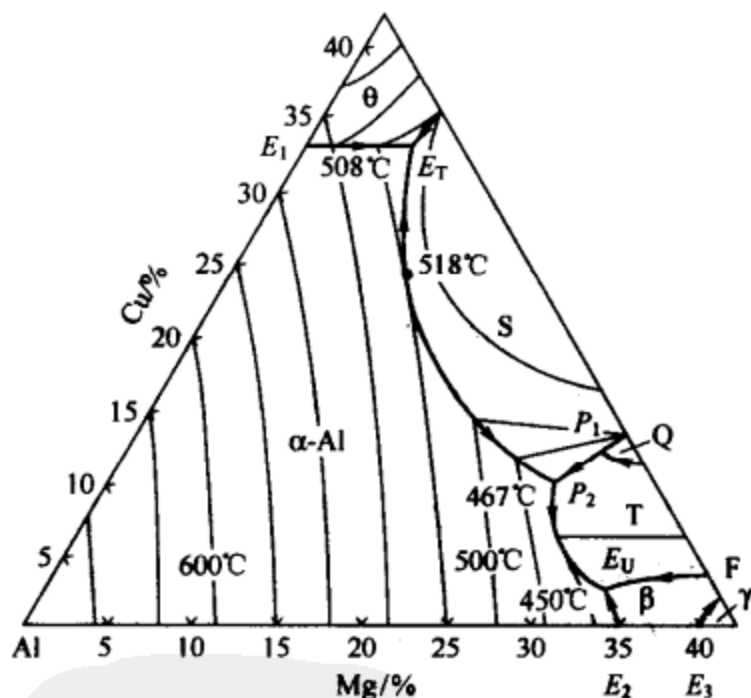


图 1

试 题 四

一、名词解释（4分，每小题 2分）

1. 组织 2. 有序强化

二、简答题（70分）

1. 写出正交晶系点阵常数的特点，铁属于哪种布拉菲点阵？（4分）

2. 写出立方晶系中属于 $\langle 110 \rangle$ 所有的晶向。（3分）

3. 画出立方晶系中具有下列密勒指数的晶面和晶向： $(\bar{2}1\bar{1})$ 、 $(3\bar{3}1)$ 晶面和 $[1\bar{1}\bar{3}]$ 、 $[12\bar{3}]$ 晶向。（4分）

4. 求 (121) 和 (100) 决定的晶带轴与 (001) 和 (111) 所决定的晶带轴所构成的晶面的晶面指数。(4 分)

5. 晶体的微观对称元素有哪几种? 并画图示意其中一种。(4 分)

6. 在 (001) 标准投影图中要找任一晶面 (hkl) 投影点的方法是先在基圆上找到 ($hk0$) 的点, 则 (hkl) 一定在 ($hk0$) 与圆心的连线上, 为什么?(3 分)

7. 共价键结合的晶体为什么延性和导电性都很差?(4 分)

8. 常见金属晶体结构中哪些是密排结构? 它们能不能分别看作一种独立的布拉菲点阵? 为什么?(4 分)

9. 请说出常见三类金属晶体结构中任意一类晶体结构的间隙种类、位置、多少及相对大小。(4 分)

10. γ -Fe 在略高于 910°C 时的点阵常数 $a = 0.3633\text{nm}$, α -Fe 在略低于 910°C 时 $a = 0.2892\text{nm}$, 求上述温度时 γ -Fe 和 α -Fe 的原子半径 R 。(4 分)

11. 什么是化合物? 它可分为哪几类?(4 分)

12. 组元间的电负性差如何影响置换固溶体的溶解度?(3 分)

13. 什么是间隙固溶体? 形成间隙固溶体有哪些条件?(3 分)

14. γ -黄铜属于哪一类相? 试描述其晶体结构。(4 分)

15. 比较在 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 、 FeTiO_3 (钛铁矿的主要成分) 两种离子晶体中离子排列的异同点。(4 分)

16. 按照硅氧四面体在空间的组合情况, 硅酸盐结构可以分成哪几类?(3 分)

17. 在高聚物大分子链中有哪些热运动单元? 这些热运动单元与高聚物宏观性状有何关联?(4 分)

18. 什么是结晶度? 影响结晶度的因素有哪些?(4 分)

19. 简述铸锭的组织及其形成机理。(3 分)

三、证明任意形状晶核的临界晶核形成功 ΔG^* 与临界晶核体积 V^* 的关系:

$$\Delta G^* = -\frac{V^*}{2} \Delta G_v, \text{ 式中, } \Delta G_v \text{ 为液固相单位体积自由能差。 (4 分)}$$

四、1. 画出 Fe-Fe₃C 相图, 并写出各关键点的温度及习惯标注的字母, 标明各相区。(6 分)

2. 画出含碳 0.65% 的铁碳合金的冷却曲线和室温下组织示意图, 并计算在室温下其各组成相的比例是多少?(4 分)

3. 在 Fe-Fe₃C 相图中, 画出 800°C 时各相的自由能-成分曲线。(2 分)

五、设 A、B、C 三元共晶相图中 α 、 β 、 γ 三种固溶体分别是以组元 A、B、C 为溶剂的, $T_A > T_B > T_C$, $E_{AB} > E_{AC} > E_{BC}$ (注: T_A 为组元 A 的熔点, E_{AB} 为组元 A、B 的共晶点, 其余类推)。

1. 请画出该三元共晶相图的综合投影图。(6 分)

2. 画出 $T = E_{AB}$ 时的水平截面图。(2 分)

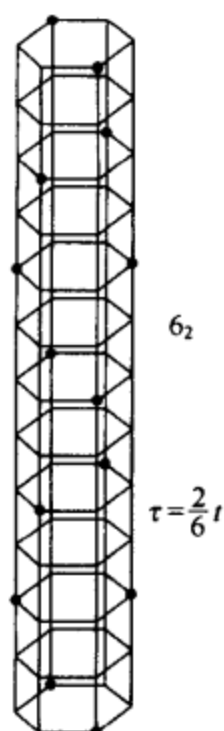
3. 在综合投影图上用阴影线表明室温下组织为 $\alpha + (\alpha + \beta) + (\alpha + \beta + \gamma)$ 的区域。(2 分)

试 题 五

注意: 选做 19 题, 第 21 题 10 分, 其余每题 5 分, 其中带 * 的为必做题目。

1* 画出金刚石的晶体点阵和空间点阵。

2. 左下图代表什么意思?



3.* 绘图说明面心正方点阵可表示为体心正方点阵。

4.* 画出立方晶系中具有下列密勒指数的晶面和晶向： $(\bar{2} \bar{1} 3)$ 晶面和 $[02\bar{1}]$ 晶向。

5. 已知某晶带中任意两个晶面 $(h_1 k_1 l_1)$ 和 $(h_2 k_2 l_2)$ ，请写出计算该晶带轴方向 $[uvw]$ 的表达式。

6. 与非金属相比，金属为什么具有良好的导热性？

7.* 典型面心立方 (FCC) 金属的一个晶胞中有几个原子和哪类间隙及其数目？这些原子堆积在一起的致密度和配位数分别为多少？

8. 什么是置换固溶体？影响置换固溶体溶解度的因素有哪些？

9. 间隙相有何特点？性能如何？有何用途？

10. 具有 NiAs 结构的相有何特点？

11.* 请描述锆英石 $Zr[SiO_4]$ 结构。

12. 请描述刚玉的晶体结构及其特征。

13. 什么是成分过冷？

14. 在高聚物大分子链中有哪些热运动单元？这些热运动单元与高聚物宏观性状有何关联？

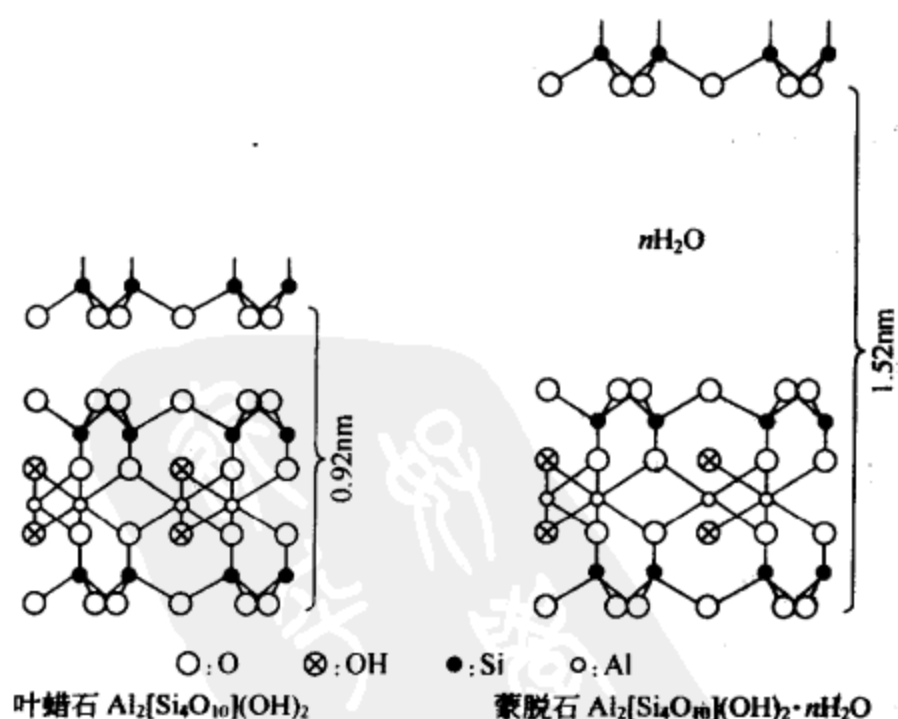
15. 简述高聚物的结构特点？影响高聚物结晶度的因素有哪些？

16.* 绘图并推导纯金属的凝固驱动力 $\Delta G = L_m \frac{\Delta T}{T_m}$ (式中， L_m 为凝固潜热， T_m 为理论熔点)。

17. 纯晶体均匀形核时为什么需要临界形核功，该临界形核功有多大？

18. 二元相图中的三相平衡反应为什么是在恒温下进行的？

19.* 比较下图中叶蜡石和蒙脱石的结构。



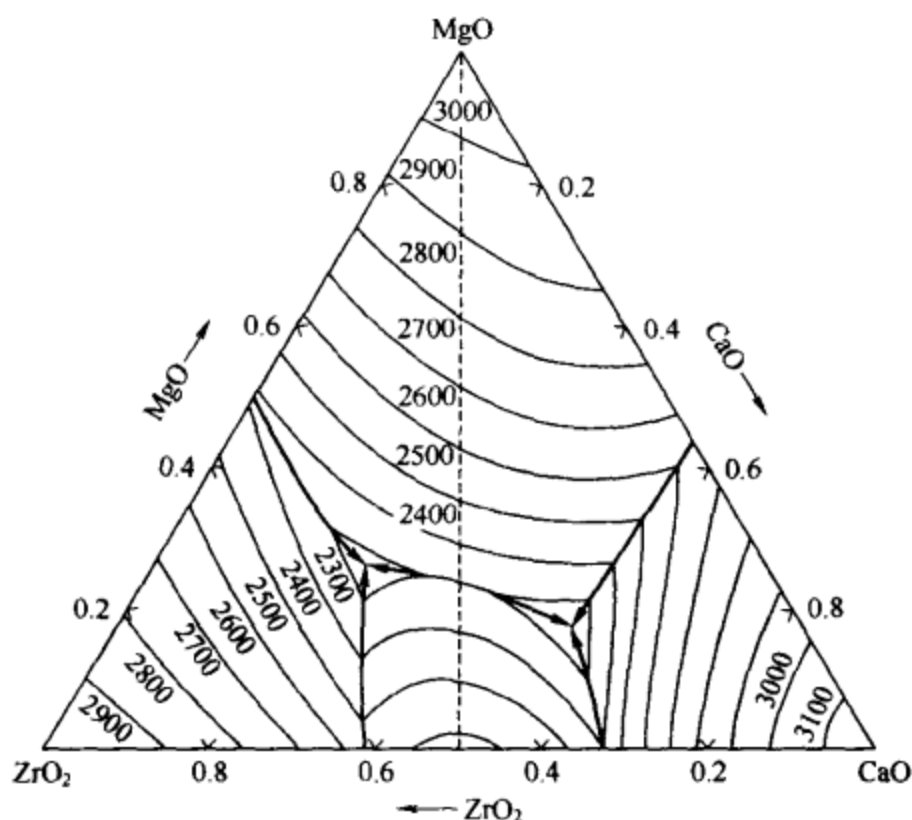
20. 简述铸锭的组织及其形成机理。

21.* 画出含碳 1.0% 的铁碳合金的冷却曲线和室温下组织示意图，并计算在室温下各组织组成物比例是多少？

22.* 写出三元系的四相平衡包析平衡反应式，在该四相平衡平面上、下各有几个三相平衡棱柱与其衔接？

23. 画出固态有限互溶三元共晶相图的投影图。

24. 对下图所示三元相图给予简单说明。



试 题 六

注意：选做 19 题，第 21 题 10 分，其余每题 5 分，其中带 * 的为必做题目。

1.* 画出氯化钠的晶体点阵和空间点阵。

2. 右图代表晶体的哪种对称关系？

3.* 绘图说明底心正方点阵可表示为简单正方点阵。

4.* 画出立方晶系中具有下列密勒指数的晶面和晶向： $(\bar{1}21)$ 晶面和 $[\bar{2}\bar{1}3]$ 晶向。

5. 已知某晶面同属于两个晶带 $[u_1 v_1 w_1]$ 和 $[u_2 v_2 w_2]$ ，请写出计算该晶面指数 (hkl) 的表达式。

6. 举例说明固体材料结合键的多重性。

7.* 典型体心立方 (BCC) 金属的一个晶胞中有几个原子和哪类间隙及其数目？这些原子堆积在一起的致密度和配位数分别多少？

8. 什么是间隙固溶体？形成间隙固溶体有何条件？

9. 间隙化合物结构有何特点？常见类型有哪些？

10. 说明 γ -黄铜型电子化合物结构的特点。

11.* 什么是负离子配位多面体？画出陶瓷材料中两个最常见的负离子配位多面体。

12. 比较在 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 、 FeTiO_3 (钛铁矿的主要成分) 两种离子晶体中离子排列的异同点。

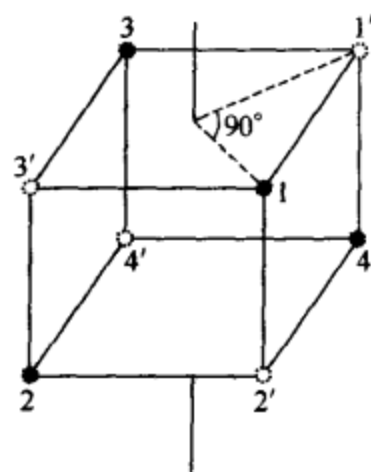
13. 能否说明过冷度 ΔT 越大，相变的形核率就越大，为什么？

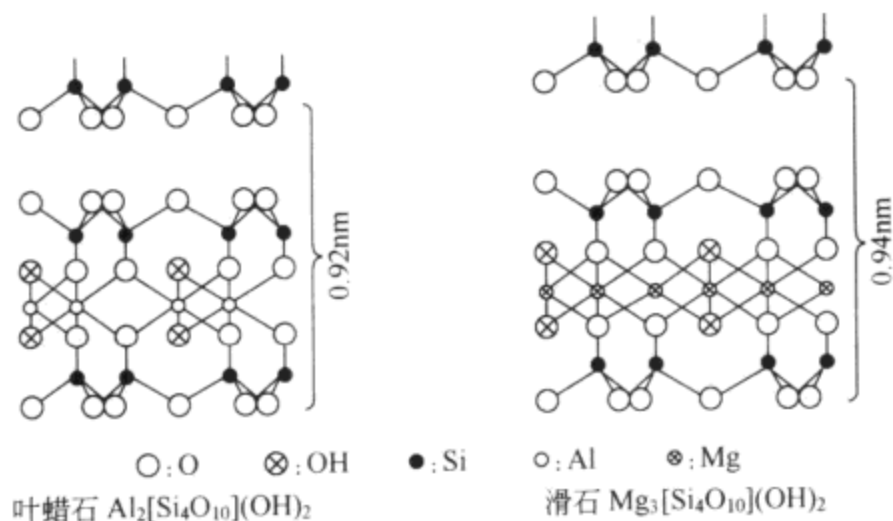
14.* 什么是大分子链的柔性？影响大分子链的柔性有哪些因素？

15. 什么是高聚物？高聚物的平均分子量及分子量分布宽窄对高聚物性能有何影响？

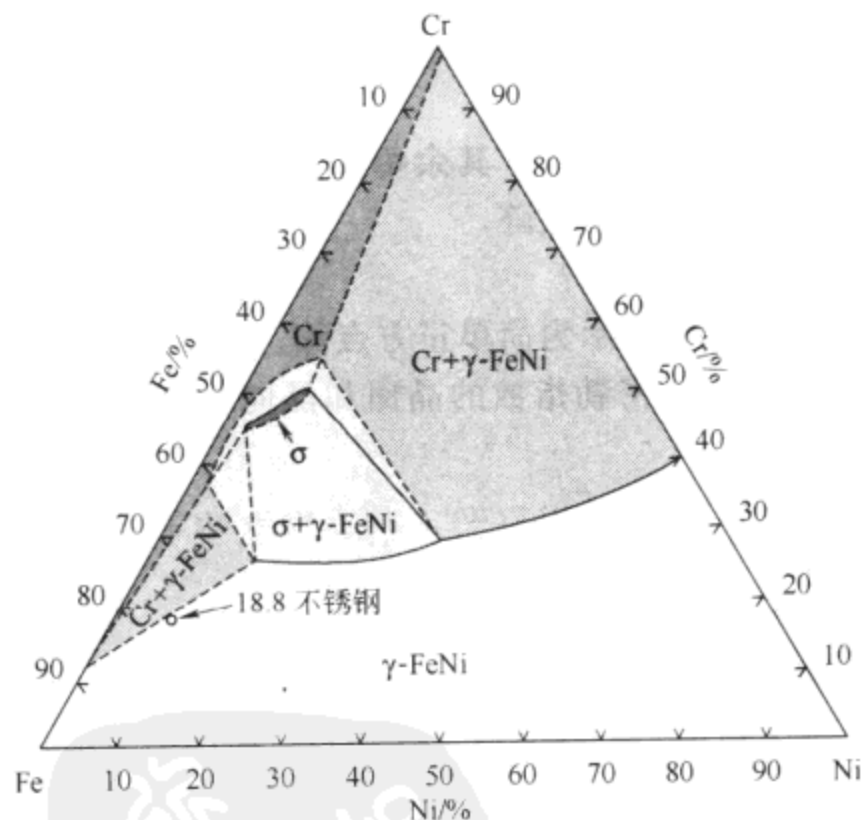
16.* 纯金属液固转变的驱动力是什么？为什么说过冷度越大这个相变的驱动力也越大？

17.* 比较下图中叶蜡石和滑石的结构。





18. 三元相图中的四相平衡反应为什么是在恒温下进行的?
19. 什么是区域熔炼?
20. 共晶合金是如何形核和长大的? 铸锭中常见的缺陷有哪些?
- 21.* 画出含碳 0.60% 的铁碳合金的冷却曲线和室温下组织示意图, 并计算在室温下各组织组成物比例是多少?
- 22.* 写出三元系的四相平衡包共晶平衡反应式, 在该四相平衡平面上、下各有几个三相平衡棱柱与其衔接。
23. 标注下图所示三元相图中未标明区域的组成相。



不锈钢的三元相图

试 题 七

一、名词解释 (20 分, 每小题 4 分)

1. 晶胞 2. 能量起伏 3. 动态过冷 4. 组织组成物 5. 扩散激活能

二、填空 (30 分, 每空 1 分)

1. 体心立方结构的原子配位数为 _____, 致密度为 _____, 它的每个晶胞中含有 _____

的八面体间隙数与四面体间隙数之比为_____, 其中围成八面体间隙的八个晶面的晶面族指数为_____, 若碳原子固溶在 α -Fe 中, 在平衡状态下碳是处在_____面体间隙中心, 所形成的固溶体叫_____; 面心立方结构的原子配位数为_____, 致密度为_____, 它的每个晶胞中含有的八面体间隙数与四面体间隙数之比为_____, 其中围成八面体间隙的八个晶面的晶面族指数为_____, 若碳原子固溶在 γ -Fe 中, 在平衡状态下碳是在_____面体间隙中心, 所形成的固溶体叫_____。

2. 金属结晶时的过冷度越大, 结晶驱动力_____, 临界晶核尺寸_____, 临界形核功_____, 形核率_____, 结晶后的晶粒尺寸_____, 金属强度_____。

3. 从微观上看, 结晶时的液固相界面有_____界面和_____界面, 典型金属的液固相界面属于_____界面, 它以_____机制生长, 其生长速率较_____; 非金属的液固相界面属于_____界面, 它以_____机制生长, 其生长速率较_____。

4. 原子扩散驱动力是_____, 阻力是_____, 固态金属中扩散的主要机制是与_____。

三、分析下列问题 (15 分, 每小题 7.5 分)

1. 合金铸锭三晶区的形成原因。

2. 晶内偏析和正常偏析的形成原因, 冷却速度对它们有何影响。

四、在液固相界面前沿液体处于正温度梯度条件下, 纯金属凝固时界面形貌如何? 而在同样条件下, 单相固溶体合金凝固时界面形貌又如何? 试分析原因。(10 分)

五、画出 Fe-Fe₃C 组织区分图, 标明各点符号、成分及温度, 并分析或计算下列问题。(25 分, 每小题 12.5 分)

1. Fe-Fe₃C 合金平衡组织中有哪些类型的 Fe₃C, 分析它们的形成条件(温度范围和成分范围)及组织形貌。

2. 分析 T12 钢 (Fe-1.2%C) 的平衡结晶过程, 计算室温下合金中组织组成物的相对量, 画出室温下平衡组织示意图。

试 题 八

一、名词解释 (18 分, 每小题 3 分)

1. 空间点阵 2. 原子配位数 3. 晶体缺陷 4. 临界晶核 5. 超点阵 6. 离异共晶

二、单选题 (10 分, 每小题 1 分)

1. 面心立方结构的单位晶胞原子数是 () 个。

a. 2 b. 4 c. 8 d. 12

2. 理想的密排六方结构的原子配位数为 () 个。

a. 8 b. 10 c. 12 d. 14

3. 面心立方结构的原子半径为 ()。

a. $\frac{\sqrt{2}}{2}a$ b. $\frac{\sqrt{3}}{2}a$ c. $\frac{\sqrt{2}}{4}a$ d. $\frac{\sqrt{3}}{4}a$

4. 体心立方结构中原子的最密排晶向族是 ()。

a. $\langle 100 \rangle$ b. $[110]$ c. $\langle 111 \rangle$ d. $[112]$

5. 面心立方结构的 () 晶面的正常堆垛次序为 ABCABC…。
a. (110) b. (111) c. (112) d. (123)
6. 偏晶转变的反应式为 ()。
a. $L_1 + L_2 \rightarrow \alpha$ b. $\alpha \rightarrow L + \beta$ c. $L_1 \rightarrow L_2 + \alpha$ d. $L \rightarrow \alpha + \beta$
7. 使碳钢产生热脆的杂质元素是 ()。
a. S b. P c. N d. H
8. 在二元共晶相图中, 共晶成分的合金具有好的 () 性能。
a. 铸造 b. 锻造 c. 焊接 d. 热处理
9. 空间点阵只能有 () 种。
a. 12 b. 14 c. 15 d. 16
10. 金属-金属型共晶具有粗糙-粗糙型界面, 它多为 () 形态。
a. 层片状 b. 针状 c. 树枝状 d. 螺旋状

三、填空 (23 分, 每空 0.5 分)

1. 理想密排六方结构的单位晶胞原子数为 _____ 个, 原子半径为 _____, 配位数为 _____, 致密度为 _____, 八面体间隙数为 _____, 四面体间隙数为 _____, 原子最密排晶面族为 _____。
2. 位错线是晶体中 _____ 区与 _____ 区在滑移面上的交界线, 刃型位错的柏氏矢量与其位错线 _____, 螺型位错的柏氏矢量与其位错线 _____, 混合型位错的柏氏矢量与其位错线既不 _____, 也不 _____。
3. 小角度晶界是相邻两晶粒的位向差 _____ 的晶界, 它可分为 _____ 和 _____ 两种基本类型, 前者是由 _____ 位错构成, 后者是由 _____ 位错构成, 它们具有 _____ 的界面能; 大角度晶界是相邻两晶粒的位向差 _____ 的晶界, 它的界面能比小角度晶界的 _____。
4. 液态金属的结构为短程 _____, 长程 _____, 纯金属和合金结晶的必要条件是 _____, 它们都是通过 _____ 和 _____ 完成结晶的, 但纯金属是在 _____ 条件下结晶, 形核需要 _____ 起伏和 _____ 起伏, 而固溶体合金结晶时的自由度为 _____, 因此是在 _____ 条件下才能结晶完成, 形核还需要 _____ 起伏。根据液固相界面的微观结构, 相界面可分为 _____ 界面和 _____ 界面两类, 在正温度梯度条件下, 前者以 _____ 机制生长, 后者以 _____ 机制生长。
5. 间隙相是由 _____ 元素和 _____ 元素在负电性差 _____ 时, 且原子半径比 _____ 0.59 时形成的中间相, 它的晶体结构比较 _____, 并与两组元的晶体结构 _____, 尽管它的脆性 _____, 但由于具有很高的 _____ 和 _____, 是合金工具钢中的主要 _____ 相。

四、相图应用题 (22 分)

1. 画出 Fe-Fe₃C 相图, 注明各点的字母、成分、温度和各相区的组织组成物。(7 分)
2. 分析含碳 3.3% (质量) 铁碳合金的平衡结晶过程, 并画出冷却曲线。(9 分)
3. 计算该合金在室温时的组织组成物和相组成物的相对含量。(6 分)

五、问答题 (27 分)

1. 分析非均匀形核比均匀形核容易的原因, 并说明细化晶粒的途径和方法。(9 分)
2. 简述影响置换固溶体溶解度的因素和影响效果, 以及形成无限固溶体的条件。(9 分)

3. 试用位错理论解释低碳钢的应变时效现象。(9分)

试 题 九

一、名词解释 (15分, 每小题3分)

1. 非均匀形核 2. 伪共晶 3. 杠杆定理 4. 结构起伏 5. 比重偏析

二、填空 (11分, 每空0.5分)

1. 金属材料在常温或低温下的塑性变形主要以滑移和孪生方式进行, 滑移是在滑移系上进行, 一个_____和一个_____组成了一个滑移系, 滑移以后滑移面两侧的晶体位向关系_____, 当滑移面上的分切应力大于_____时, 处于_____的滑移系首先_____, 滑移量是点阵矢量的_____. 孪生是在_____和_____上进行, 孪生切应变是点阵矢量的_____, 孪生对晶体塑性变形的直接贡献_____, 但是间接贡献_____, 它能使晶体的_____发生改变, 从而促进_____进行。

2. 冷变形金属经回复以后, 力学性能和物理性能的变化主要是_____和_____下降。加热时发生再结晶的驱动力是_____, 它的形核机制主要有_____, _____和_____三种, 再结晶以后, 力学性能变化是_____下降和_____提高。

三、判断题 (正确打“√”, 错误打“×”, 8分, 每小题1分)

1. 由凝固理论可知, 细化晶粒的途径是提高形核率, 降低长大速度。 ()
2. 共晶合金具有良好的铸造性能。 ()
3. 合金凝固时, 只要有成分过冷, 就会出现树枝状晶。 ()
4. 二次再结晶是冷变形金属在再结晶后又一次进行的形核与长大过程。 ()
5. 液态金属的结构特点是短程有序, 长程无序。 ()
6. 形变织构和再结晶织构都会使金属材料具有各向异性。 ()
7. 金属-非金属型共晶具有粗糙-光滑型界面, 所以它多为树枝状、针状或螺旋状。 ()
8. 多晶体金属塑性变形的特点是, 各个不同位向晶粒之间要相互协调以及晶界对变形有阻碍作用。 ()

四、相图 (36分)

1. Fe-Fe₃C 合金相图 (18分)

(1) 画出 Fe-Fe₃C 合金相图, 标明重要点的字母、成分和温度, 并填出各相区的组织组成物。(7分)

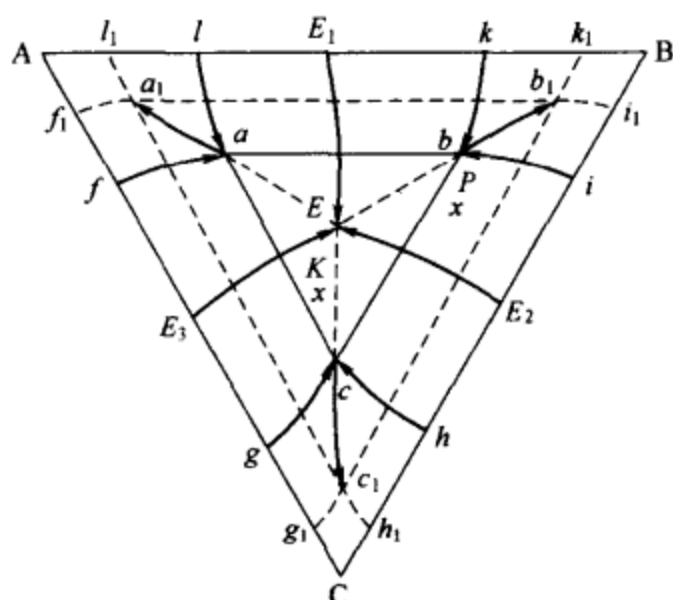
(2) 分析含 0.45% C 铁碳合金的平衡凝固过程, 画出冷却曲线及室温下显微组织示意图。(7分)

(3) 计算含 0.45% C 铁碳合金在室温时相组成物和组织组成物的相对含量。(4分)

2. 三元共晶相图 (18分)

(1) 根据固态下有限溶解的三元共晶相图的投影图, 分析 K 和 P 点合金的平衡结晶过程, 并写出其在室温下的组织组成物。(10分)

(2) 已知 $T_B > T_A > T_C > E_1 > E_2 > E_3 > E$, 画出 $E_1 > T > E_2$ 时的水平 (等温) 截面图, 并填出各个相区的相组成物。(8分)



五、简述纯金属和单相固溶体合金凝固的条件、过程和晶粒长大的形貌。(15 分)

六、阐明单相固溶体合金塑性变形的强化机制。(15 分)

试 题 十

一、单选题 (24 分, 每小题 2 分)

- 置换合金中置换原子的扩散系数远小于空位的扩散系数, 因为:
 - 空位跃迁的概率高于原子跃迁的概率;
 - 空位的化学势梯度大于原子的化学势梯度;
 - 空位扩散的激活能大于原子扩散的激活能;
 - 空位扩散的激活能小于原子扩散的激活能。
- 由 A、B 两组元组成的扩散偶中, 已知 $D_A > D_B$, 若扩散偶的一端富 A, 另一端富 B, 且扩散偶中发生的是置换扩散, 则:
 - 扩散偶中有空位流, 它的方向是从 A 到 B;
 - 扩散偶中有空位流, 它的方向是从 B 到 A;
 - 扩散偶中没有空位流;
 - 扩散偶中有空位流, 但它的方向是不确定的。
- 运用区域熔炼方法可以:
 - 使材料的成分更均匀;
 - 可以消除晶体中的微观缺陷;
 - 可以消除晶体中的宏观缺陷;
 - 可以提高金属的纯度。
- 晶粒尺寸和形核率 N , 线长大速度 v_g 之间的关系是:
 - N 越大, 晶粒尺寸越大;
 - N/v_g 越大, 晶粒尺寸越大;
 - v_g/N 越大, 晶粒尺寸越大;
 - v_g 越小, 晶粒尺寸越小。
- 在三元相图中, 连接线是指:
 - 在水平截面上, 三相平衡时各相成分点之间的连线;
 - 在液相面投影图上, 两相平衡时各相成分点之间的连线;
 - 在综合投影图上, 三相平衡时各相成分点之间的连线;
 - 在水平截面上, 两相平衡时各相成分点之间的连线。
- 从液相形成非晶的玻璃化温度 T_g 与平衡凝固温度 T_f 之间的关系是:
 - $T_g < T_f$
 - $T_g > T_f$
 - $T_g = T_f$
 - T_g 可以大于 T_f , 也可以小于 T_f

7. 下列组织中的哪一个可能不是亚稳态？

- a. 马氏体+残余奥氏体 b. 上贝氏体
- c. 铁素体+珠光体 d. 奥氏体+贝氏体

8. A、B 二组元形成共晶系，则：

- a. 具有共晶成分的合金铸造工艺性能最好；
- b. 具有亚共晶成分的合金铸造工艺性能最好；
- c. 具有过共晶成分的合金铸造工艺性能最好；
- d. 不发生共晶转变的合金铸造工艺性能最好。

9. 非均匀形核的形核功 ($\Delta G_{\text{非}}^*$) 和接触角 (θ) 和 σ_{nw} (晶核和杂质之间的界面能) 之间的关系为：

- a. σ_{nw} 越小, θ 越大, $\Delta G_{\text{非}}^*$ 越大; b. σ_{nw} 越大, θ 越大, $\Delta G_{\text{非}}^*$ 越小;
- c. σ_{nw} 越小, θ 越小, $\Delta G_{\text{非}}^*$ 越大; d. σ_{nw} 越小, θ 越小, $\Delta G_{\text{非}}^*$ 越小。

10. 在三元相图中, 单变量线是指：

- a. 四相平衡时各相成分点之间的连线;
- b. 反映三相平衡时各相成分随温度变化而变化的曲线;
- c. 两相平衡时连接线在三元相图空间模型中的形式;
- d. 三元相图投影面上两相区与单相区的边界线。

11. 单相固溶体凝固时, 若 $k_0 < 1$, 根据液相混合的程度：

- a. $k_e = k_0$ 时, 液相混合最充分, 铸锭内成分最均匀;
- b. $k_e = 1$ 时, 液相混合最充分, 铸锭内成分最均匀;
- c. $k_e = 1$ 时, 液相混合最不充分, 铸锭内成分最均匀;
- d. $k_0 < k_e < 1$ 时, 液相混合最充分, 铸锭内成分最均匀。

12. 成分过冷区的大小与：

- a. 相图中液相线的斜率 m 有关, m 越大, 成分过冷区越大;
- b. 相图中液相线的斜率 m 有关, m 越大, 成分过冷区越小;
- c. 相图中液相线的斜率 m 无关;
- d. 扩散系数 D 有关, D 越大, 成分过冷区越大。

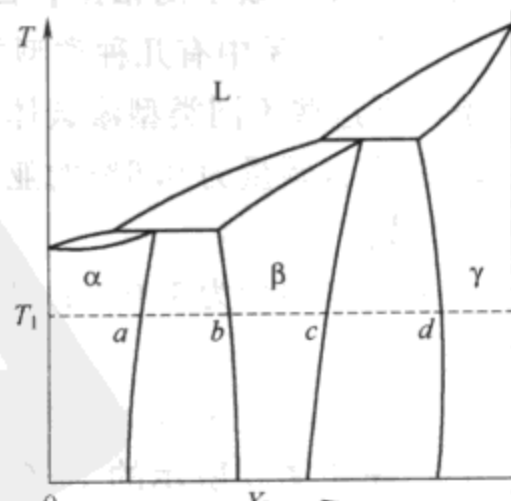
二、某二元系的相图如图 1 所示, 如果用图中的 A、B 两组元组成一个扩散偶：(9 分)

1. 在扩散偶 [如图 1(a)] 中, 发生置换扩散的扩散系数与发生间隙扩散的扩散系数有何不同? 如果是间隙扩散, 是否会发生柯肯达尔效应? 为什么?



(a)

2. 某二元系的相图如图 1(b) 所示, 若将 A、B 两组元组成的扩散偶在图中所示的 T_1 温度加热相当长 (但不是无限长) 的时间, 扩散偶中会出现怎样的组织分布, 请用示意图表示。



(b)

3. 扩散偶中会不会出现 $\alpha + \beta$ 或 $\beta + \gamma$ 两相区? 为什么?

三、回答以下问题 (10 分)

1. 纯元素在均匀形核时过冷度的大小对形核功和临界半径的大小有什么样的影响? 为什么?

2. 形核时两相之间界面能的大小对形核功的大小是否与过冷度的影响相同? 为什么?

图 1

3. 如果是非均匀形核, 过冷度的大小对形核功的影响是否与均匀形核时相同? 为什么?

4. 对于某二元系, 若系统从液相冷却, 形成非晶态必要条件是什么? 临界冷却速度 R_c 的物理意义是什么? 它与什么因素有关?

四、分别叙述图 2 中的 (b)、(c)、(d) 三条曲线的物理意义, 并在此基础上说明形成成分过冷的条件。(8 分)

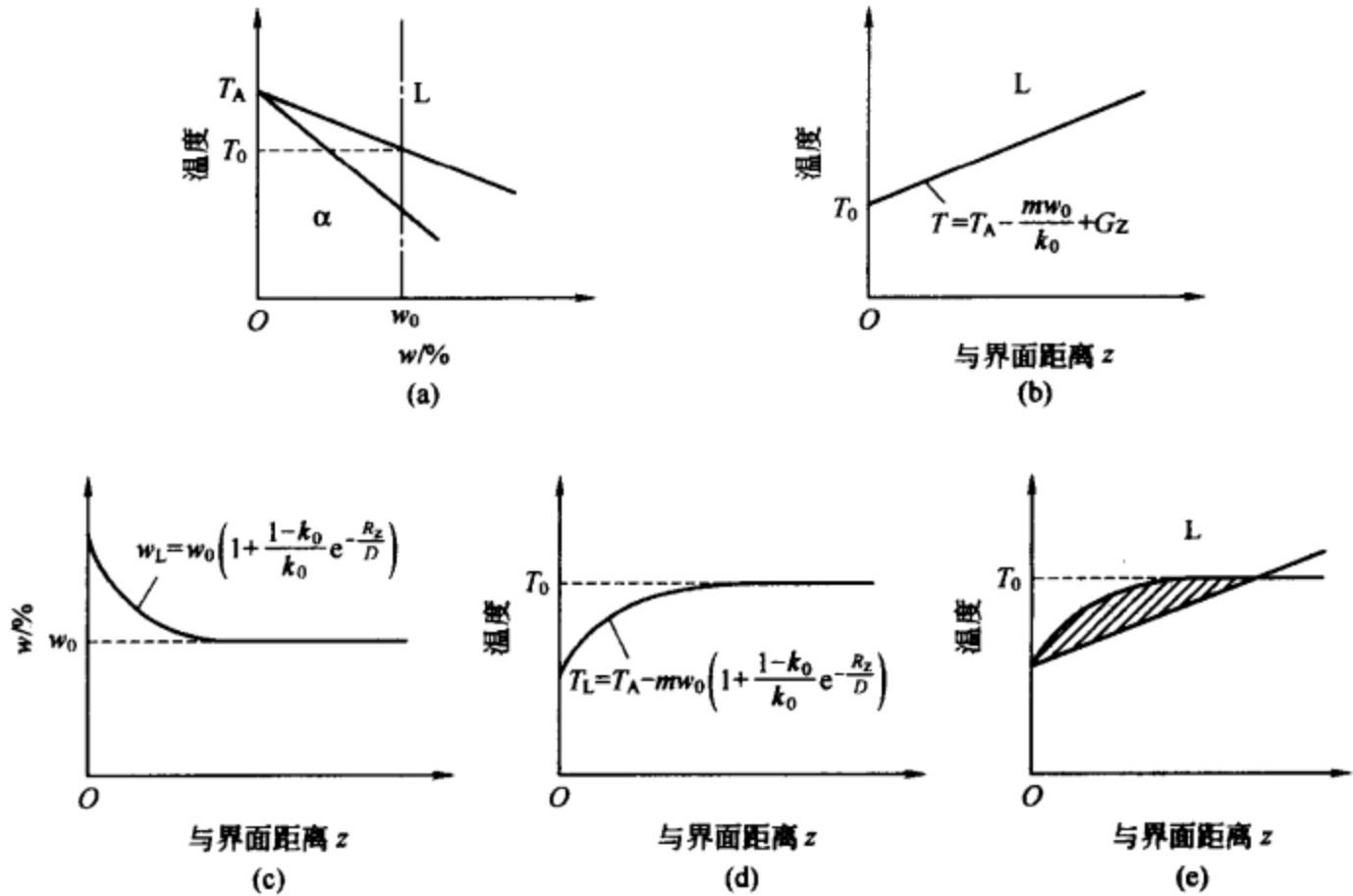


图 2

五、(10 分) 试根据下列数据绘制概略的金钒相图: 金的熔点为 1064°C , 钒的熔点为 1929°C 。金和钒可以形成中间相 β , 在室温下 β 的成分范围为 $43\% \sim 45\% \text{V}$ 。钒在金中的固溶体为 α , 室温下钒在 α 中的溶解度为 19% ; 金在钒中的固溶体为 γ , 室温下金在 γ 中的溶解度为 25% 。合金系有两个包晶反应: (1) $1400^{\circ}\text{C} \quad \beta(39.9\% \text{V}) + \text{L}(24.8\% \text{V}) \rightleftharpoons \alpha(27.1\% \text{V})$; (2) $1522^{\circ}\text{C} \quad \gamma(52\% \text{V}) + \text{L}(34.5\% \text{V}) \rightleftharpoons \beta(45\% \text{V})$ 。

六、根据铁碳平衡相图, 回答以下问题: (10 分)

1. 在 Fe-C 系中有几种类型的渗碳体? 分别说出这些渗碳体的形成条件, 并描述在平衡凝固条件下这些不同类型渗碳体的形貌 (可用示意图表示)。

2. 画出含碳量为 0.6% 的亚共析钢在室温下的平衡组织 (示意图), 并计算组织中珠光体的百分数。

3. 画出含碳量为 1.0% 的过共析钢在室温下的平衡组织 (示意图), 并计算出二次渗碳体的百分数。

4. 计算含碳量为 3.0% 的亚共晶白口铸铁组织中二次渗碳体和珠光体的百分数。

七、在如图 3 所示的 Fe-C-Mo 三元相图的垂直界面中有多个四相平衡反应, 其中有些反应的类型可以根据所给的截面图判断, 请写出这些反应的反应式。对于其他的四相平衡反应区 (图中最左面的水平线除外), 写出每个四相区的组成相。(11 分)

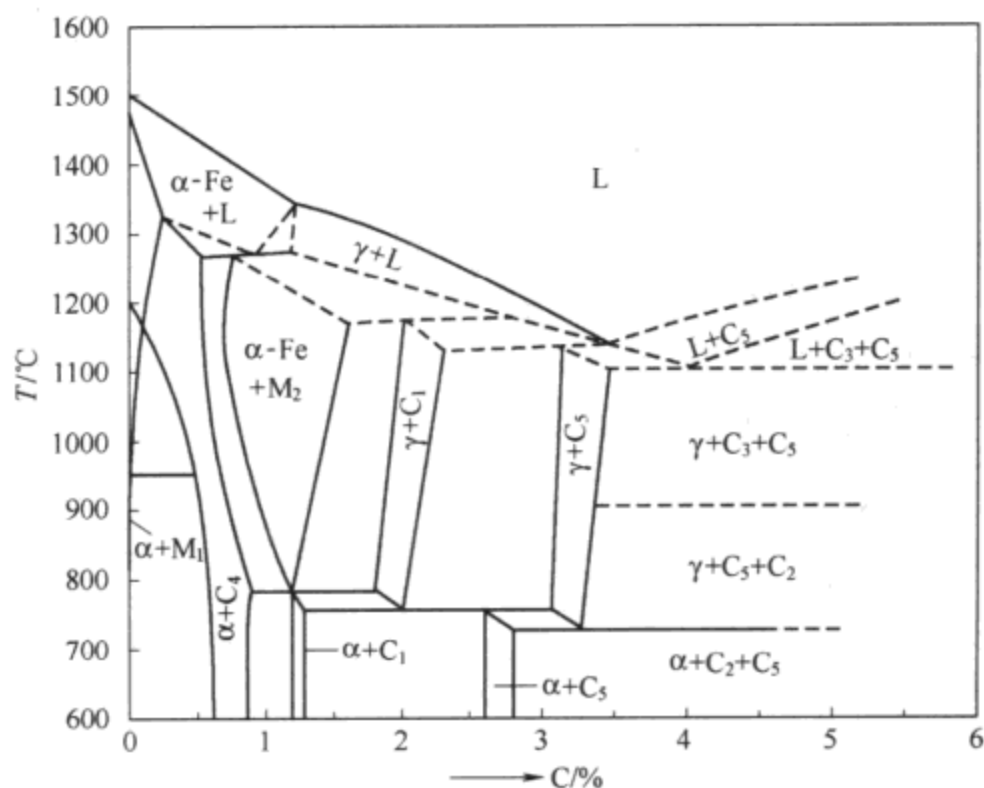


图 3

八、根据图 4 所示的三元相图的综合投影图，回答以下问题：（12 分）

1. 在组成这个三元系的三个二元系中各发生了什么反应？写出相应的反应式。
2. 在这个三元系中发生了什么样的四相平衡反应？写出反应式。
3. 用热分析曲线表示图中 O、Q、R 点代表的成分在平衡冷却过程中的相转变。

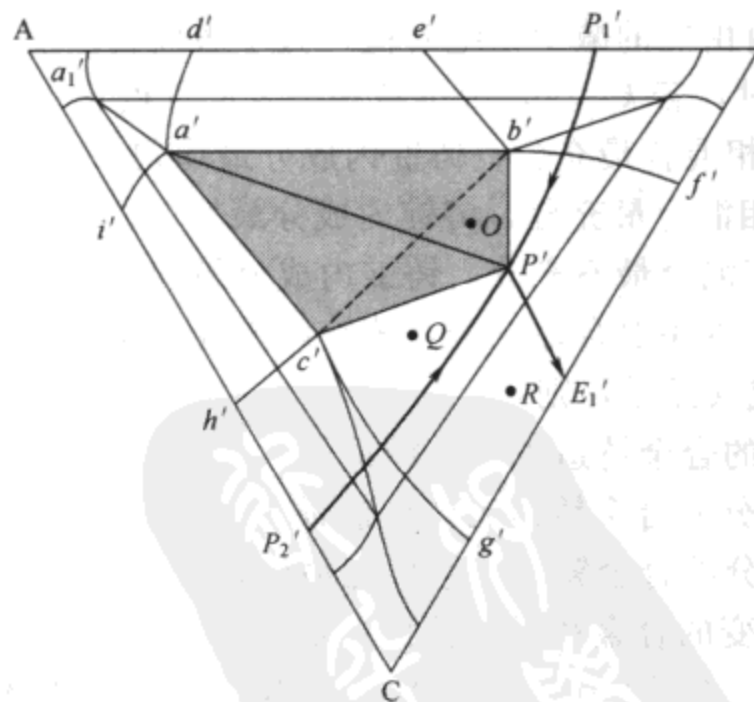


图 4

九、根据图 5 所示的 Fe-C-W 三元相图的液相面投影图，写出在 O、P、Q 发生的四相平衡反应的反应式。（6 分）

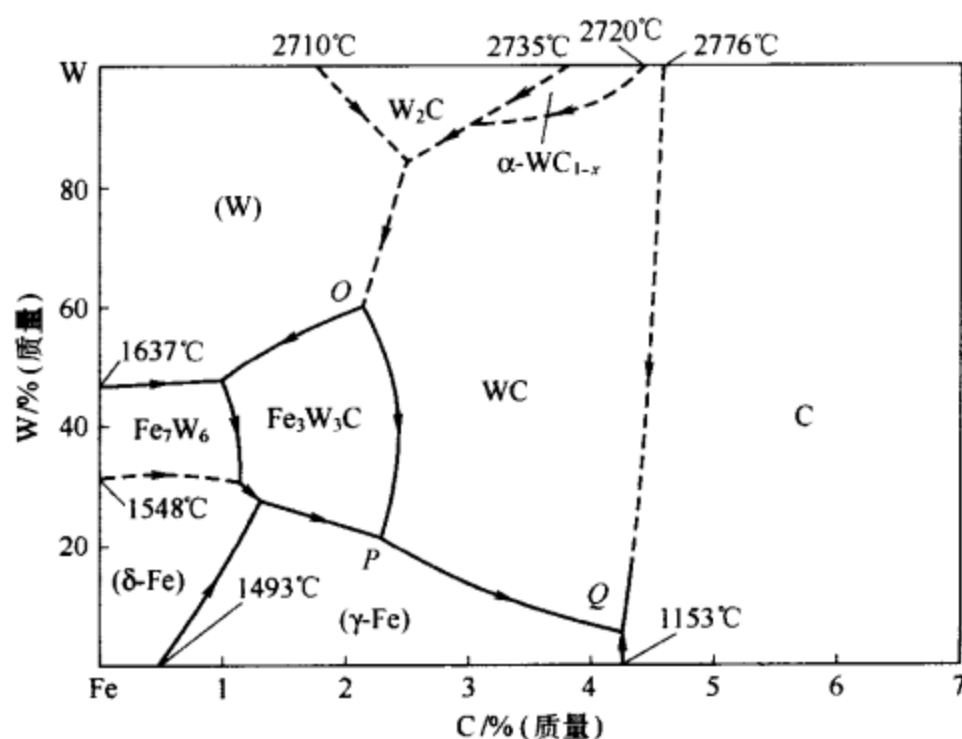


图 5

试题十一

一、单选题 (20 分, 每小题 2 分)

1. 纯金属在某一温度 $T (T < T_m)$ 平衡凝固时, 当临界晶核 ($r = r^*$) 形成后, 晶核能进一步长大, 这是因为:

- $r > r^*$, 表面自由能变化可以忽略不计;
- $r > r^*$, 体积自由能的增加大于表面自由能的增加;
- $r > r^*$, 体积自由能的增加小于表面自由能的增加;
- $r > r^*$, 体积自由能的减少 (绝对值) 大于表面自由能的增值。

2. 单相固溶体凝固时, 若 $k_0 < 1$, 根据液相混合的程度:

- $k_e = k_0$ 时, 液相混合最充分, 铸锭内成分最均匀;
- $k_e = 1$ 时, 液相混合最充分, 铸锭内成分最均匀;
- $k_e = 1$ 时, 液相混合最不充分, 铸锭内成分最均匀;
- $k_0 < k_e < 1$ 时, 液相混合最充分, 铸锭内成分最均匀。

3. A、B 二组元形成共晶系, 则:

- 具有共晶成分的合金铸造工艺性能最好;
- 具有亚共晶成分的合金铸造工艺性能最好;
- 具有过共晶成分的合金铸造工艺性能最好;
- 不发生共晶转变的合金铸造工艺性能最好。

4. 非均匀形核的形核功 (ΔG_{het}^*) 和接触角 (θ) 和 σ_{nw} (晶核和杂质之间的界面能) 之间的关系为:

- σ_{nw} 越小, θ 越大, ΔG_{het}^* 越大;
- σ_{nw} 越大, θ 越大, ΔG_{het}^* 越小;
- σ_{nw} 越小, θ 越小, ΔG_{het}^* 越大;
- σ_{nw} 越小, θ 越小, ΔG_{het}^* 越小。

5. 在三元系中, 杠杆定理的用途是:

- 在水平截面上计算三相平衡时各相的相对百分数;

- b. 在垂直截面上计算三相平衡时各相的相对百分数;
 - c. 在水平截面上计算两相平衡时各相的相对百分数;
 - d. 在垂直截面上计算两相平衡时各相的相对百分数。
6. 下列各种偏析中, 哪一种能用热处理(均匀化退火)方法消除?
- a. 正常偏析 b. 比重偏析 c. 反偏析 d. 枝晶偏析
7. 晶粒尺寸和形核率 N 、线长大速度 v_g 之间的关系是:
- a. N 越大, 晶粒尺寸越大; b. N/v_g 越大, 晶粒尺寸越大;
 - c. v_g/N 越大, 晶粒尺寸越大; d. v_g 越小, 晶粒尺寸越大。
8. 下列组织中的哪一个可能不是亚稳态?
- a. 马氏体+残余奥氏体 b. 上贝氏体 c. 铝铜合金中的 $\alpha+\theta$ d. 奥氏体+贝氏体
9. 从液相形成非晶的玻璃化温度 T_g 与平衡凝固温度 T_f 之间的关系是:
- a. $T_g < T_f$ b. $T_g > T_f$ c. $T_g = T_f$ d. T_g 可以大于 T_f , 也可以小于 T_f
10. 热弹性马氏体是指:
- a. 在加热时有高弹性的马氏体;
 - b. 弹性随温度升高而增加的马氏体;
 - c. 和母相之间在加热和冷却时可以直接互逆转换的马氏体;
 - d. 在加热时会析出碳化物的马氏体。

二、回答下列问题 (16 分)

1. 纯金属凝固时, 均匀形核和非均匀形核的形核功大小是否相同? 一般情况下两者哪一个大? 为什么? 什么情况下两者相同?
2. 正常凝固和平衡凝固是否相同? 说明两者的相同或不同之处。
3. 纯金属凝固时是否会出现成分过冷? 为什么?
4. 单相固溶体正常凝固时是否会出现成分过冷? 为什么?

三、根据图 1 所示的铁碳平衡相图, 回答以下问题 (10 分)

1. 写出在 1495°C 、 1154°C 、 1148°C 和 727°C 发生的三相平衡反应的反应式。
2. 按亚稳态相图, 叙述含碳量为 0.6% 的 Fe-C 合金从高于液相线温度平衡冷却到室温时, 发生的两相和三相平衡转变(可用热分析曲线表示), 并画出室温组织的示意图。
3. 计算含碳量为 1.5% 的 Fe-C 合金中二次渗碳体的百分数。

四、试根据下列数据绘制概略的金钒相图: 金熔点为 1064°C , 钒的熔点为 1929°C 。金和钒可以形成中间相 β (AuV_3), 钒在金中的固溶体为 α , 室温下钒在 α 中的溶解度为 19%; 金在钒中的固溶体为 γ , 室温下金在 γ 中的溶解度为 25%。合金系有两个包晶反应: (10 分)

- (1) $1400^\circ\text{C} \quad \beta(40\% \text{V}) + \text{L}(25\% \text{V}) \rightleftharpoons \alpha(27\% \text{V})$
- (2) $2552^\circ\text{C} \quad \gamma(52\% \text{V}) + \text{L}(34.5\% \text{V}) \rightleftharpoons \beta(45\% \text{V})$

五、根据图 2 所示的 Cu-Sb 相图, 写出在 645°C 、 586°C 、 488°C 、 462°C 、 400°C 发生的三相平衡反应的反应式; 并用热分析曲线表示成分为 Cu-28% (质量) Sb 的 Cu-Zn 合金在从液相平衡冷却时发生的平衡转变。(10 分)

六、在图 3 所示的 Fe-Cr-C 三元相图的垂直截面中: (10 分)

1. 有几个四相平衡反应? 能否写出相应的反应式? 若能写, 则将其写出。
2. 在图中未标明组成相的三相区中, 标出其组成相。

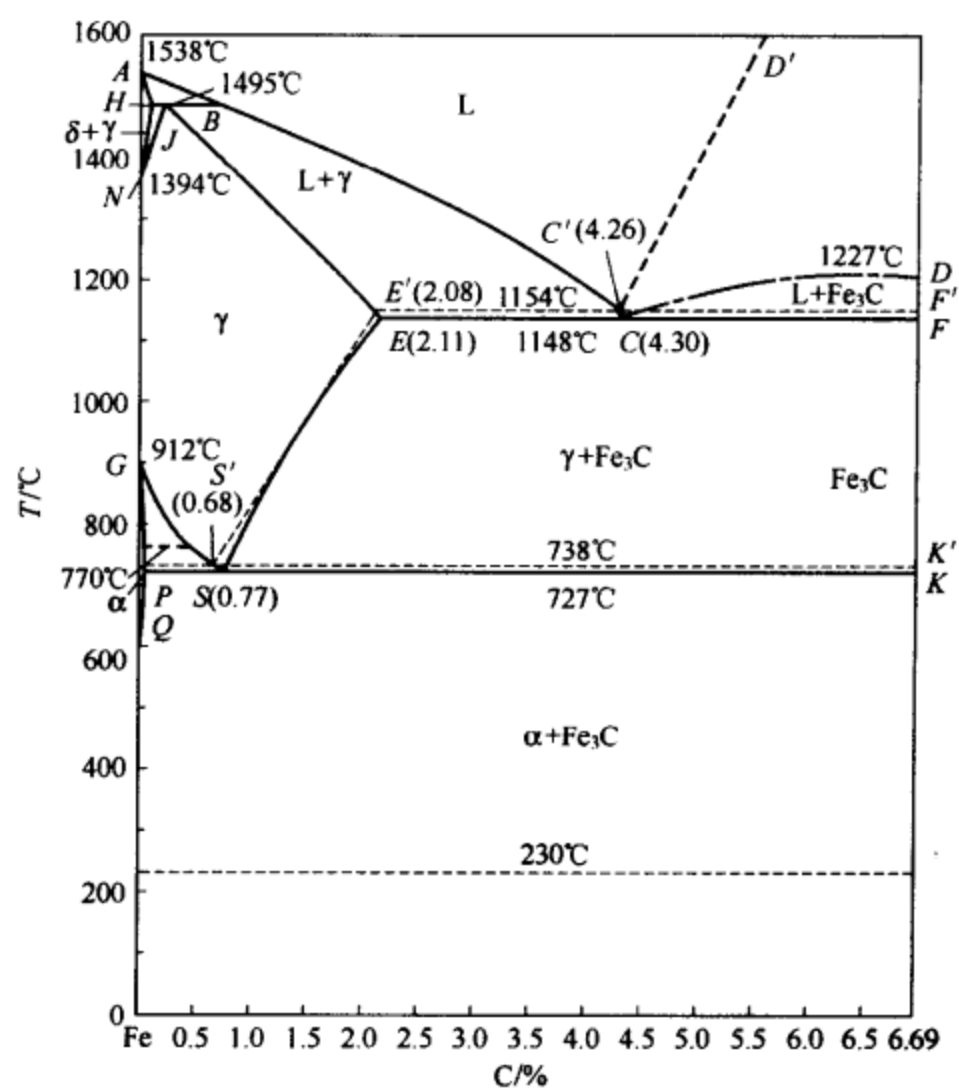


图 1

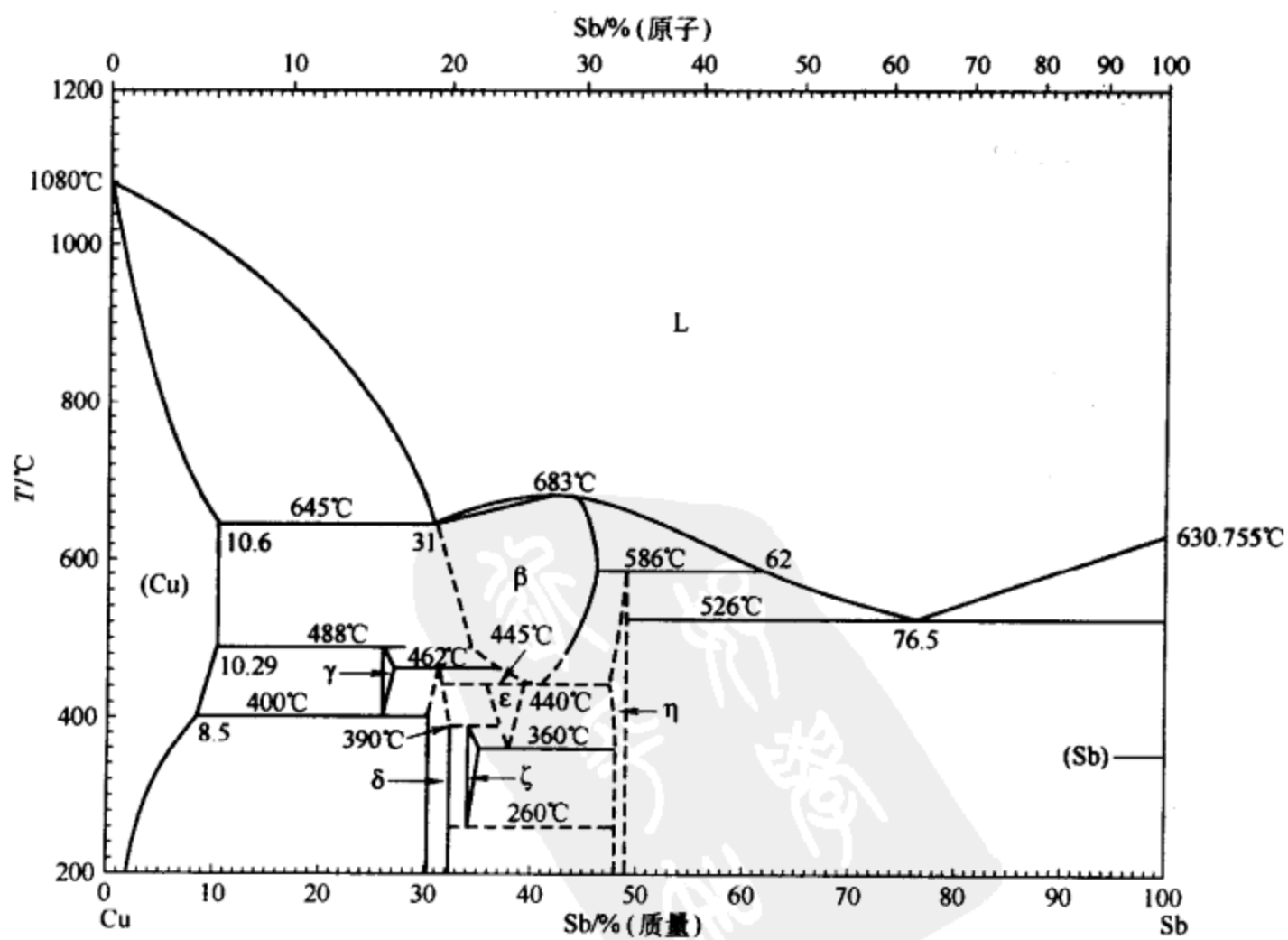


图 2

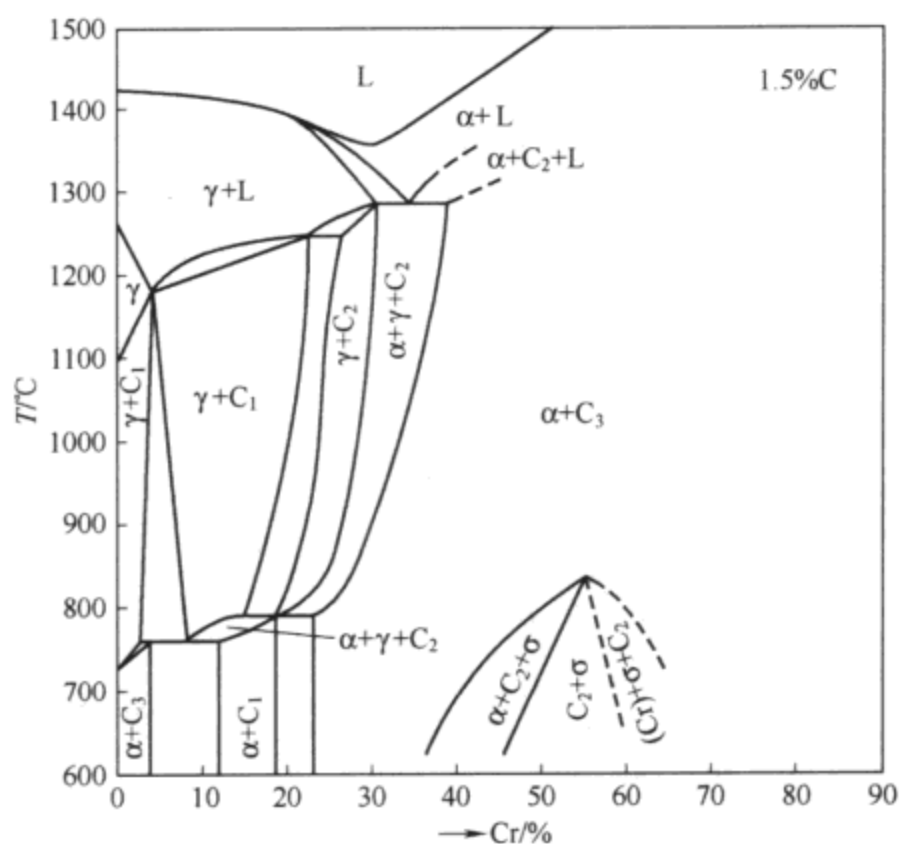


图 3

3. 能否根据相图写出成分为 Fe-10%Cr-3%C 的三元合金在 600℃时的平衡组织？若能，写出组织组成相，若不能，则说明理由。

七、根据图 4 所示的三元相图的综合投影图，回答以下问题：（10 分）

1. 在组成这个三元系的三个二元系中各发生了什么反应？写出相应的反应式。
2. 在这个三元系中发生了什么样的四相平衡反应？写出反应式。
3. 用热分析曲线表示图中 O、P 点代表的材料在平衡冷却过程中的相转变。

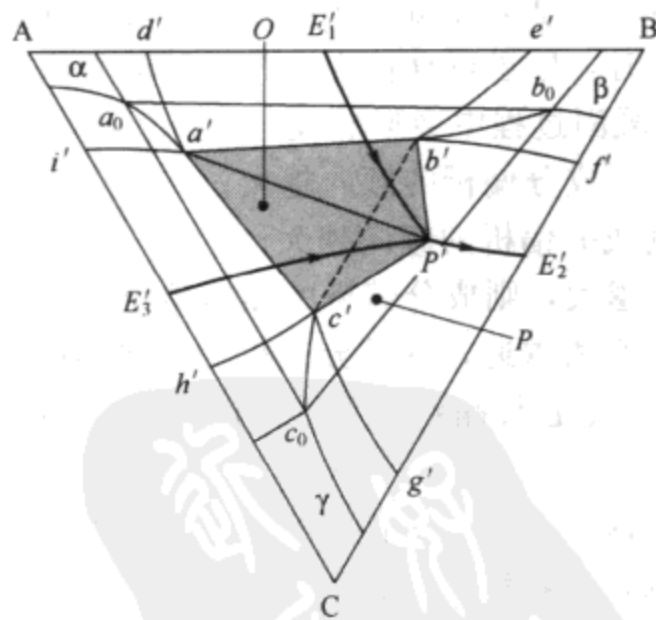


图 4

八、根据图 5 所示的 Pb-Bi-Sn 三元相图液相面投影图，写出在 P 和 E_T 两点发生的四相平衡反应的反应式。（4 分）

九、名词解释（10 分）

1. 动态过冷度
2. 准晶
3. 亚稳态
4. 伪共晶
5. 正常凝固

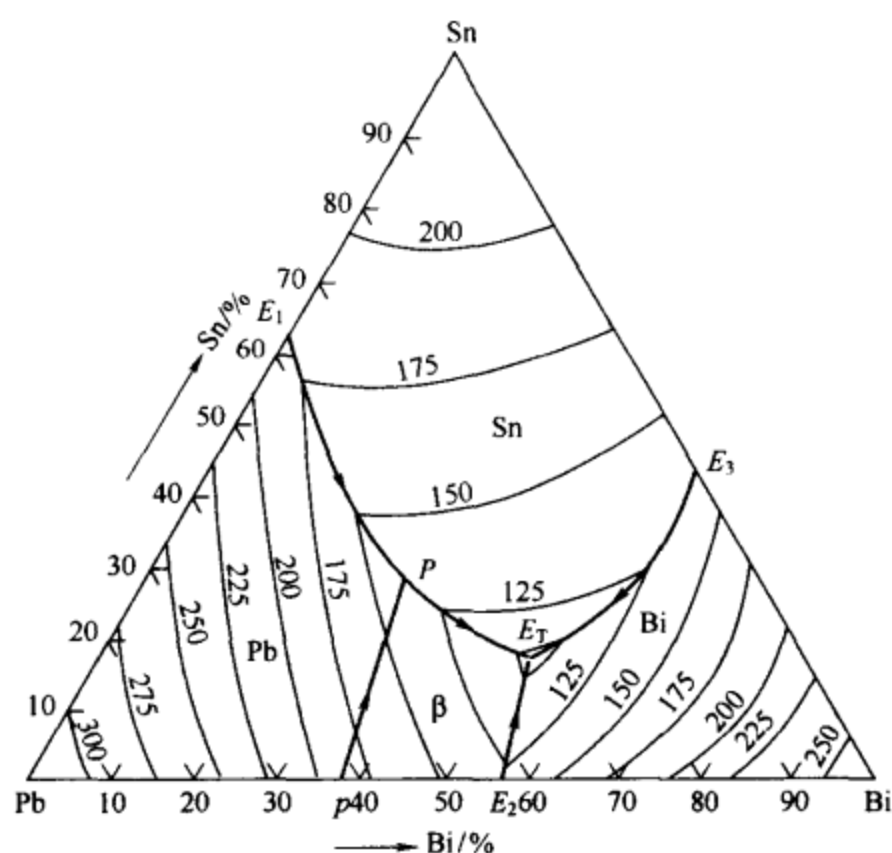


图 5

试题十二

一、单选题 (24 分, 每小题 2 分)

1. 纯金属均匀形核时:

- 当过冷度 ΔT 很小时, 原子可动性低, 相变驱动力低, 因此, 形核率低;
- 当过冷度 ΔT 很小时, 原子可动性高, 相变驱动力高, 因此, 形核率低;
- 当过冷度 ΔT 很小时, 原子可动性低, 相变驱动力高, 因此, 形核率低;
- 当过冷度 ΔT 很小时, 原子可动性高, 相变驱动力低, 因此, 形核率低。

2. 单相固溶体在非平衡凝固过程中会形成成分偏析:

- 若冷却速度越大, 则成分偏析的倾向越大;
- 若过冷度越大, 则成分偏析的倾向越大;
- 若两组元熔点相差越大, 则成分偏析的倾向越小;
- 若固相线和液相线距离越近, 则成分偏析的倾向越小。

3. 对金属-金属型共晶, 决定共晶组织形貌的一个重要因素是单位面积界面能的大小, 若:

- 单位面积的界面能越小, 形成片状共晶的倾向越大;
- 单位面积的界面能越大, 形成片状共晶的倾向越大;
- 单位面积的界面能越小, 形成棒状共晶的倾向越大;
- 单位面积的界面能越小, 形成针状共晶的倾向越大。

4. 在下列哪一种情况下平衡分配系数 k_0 和有效分配系数 k_e 相等?

- 正常凝固
- 快速凝固
- 平衡凝固
- 边界层与液相区部分混合条件下的凝固

5. 在三元系中, 四相平衡共晶相图和四相平衡包晶相图的四相平衡区都是三角形, 两者区别是:

- a. 共晶相图四相区中液相成分点在三角形内，而包晶相图四相区液相成分点在三角形顶角上；
 - b. 包晶相图四相区中液相成分点在三角形内，而共晶相图四相区液相成分点在三角形顶角上；
 - c. 共晶相图四相区是等边三角形，包晶相图的四相区不是等边三角形；
 - d. 包晶相图四相区是等边三角形，共晶相图的四相区不是等边三角形。
6. 当 $\Delta P=0$ 时，根据相律：
- a. 单元系中两相平衡反应可以在某个温度区间内进行；
 - b. 二元系中的三相平衡反应可以在某个温度区间内进行；
 - c. 三元系中的三相平衡反应可以在某个温度区间内进行；
 - d. 三元系中的四相平衡反应可以在某个温度区间内进行。
7. 从液相形成非晶的条件与玻璃化温度 T_g 与平衡凝固温度 T_f 有关：
- a. T_g/T_f 的值越大，越易形成非晶；
 - b. T_g/T_f 的值越小，越易形成非晶；
 - c. $T_g > T_f$ ，则易形成非晶；
 - d. $T_g = T_f$ ，则易形成非晶。
8. 纳米晶体与一般的多晶体的区别在于：
- a. 纳米晶的纯度比一般多晶体高；
 - b. 纳米晶体中晶界所占的体积分数比一般多晶体高；
 - c. 纳米晶体的密度比一般多晶体高；
 - d. 纳米晶体中含有准晶，而一般多晶体中没有准晶。
9. 下列组织中的哪一个可能不是亚稳态？
- a. 铁碳合金中的马氏体
 - b. 铁碳合金中的珠光体+铁素体
 - c. 铝铜合金中的 $\alpha + \text{GPZ}$
 - d. 铁碳合金中的奥氏体+贝氏体
10. 形变马氏体点（温度） M_d 与马氏体开始转变温度 M_s 之间的关系是：
- a. $M_d < M_s$
 - b. $M_d > M_s$
 - c. $M_d = M_s$
 - d. M_d 可以大于 M_s ，也可以小于 M_s
11. 非均匀形核时形核功的大小和接触角 θ 的大小有关，而接触角又与形核基底与晶核的界面能 σ_{nw} 、液相的表面能 σ_{nl} 以及液相与形核基底的界面能 σ_{lw} 有关，若：
- a. σ_{nw} 越小，则 θ 就越小，形核功也越小，形核越容易；
 - b. σ_{nl} 越大，则 θ 就越小，形核功也越小，形核越容易；
 - c. σ_{nw} 越大，则 θ 就越小，形核功也越小，形核越容易；
 - d. σ_{lw} 越小，则 θ 就越小，形核功也越小，形核越容易。
12. 对于片状共晶，片间距 λ 是一个重要参数，若凝固时：
- a. 过冷度越大，凝固速率越高，则 λ 越大，共晶材料的强度越高；
 - b. 过冷度越大，凝固速率越高，则 λ 越小，共晶材料的强度越高；
 - c. 过冷度越小，凝固速率越低，则 λ 越大，共晶材料的强度越高；
 - d. 过冷度越大，凝固速率越高，则 λ 越小，共晶材料的强度越低。

二、根据单相固溶体凝固的一维模型回答下列问题（可以用图解说明）。(16 分)

1. 为什么在凝固过程中会出现边界层？
2. 分别叙述平衡分配系数和有效分配系数的物理意义。
3. 什么情况下出现正常凝固？什么情况下凝固后的铸锭内成分最均匀？什么情况下最不均匀？

4. 用图解说明出现成分过冷的临界条件, 并解释如果是正常凝固会不会出现成分过冷。

三、回答以下问题 (8 分)

1. 叙述纯元素均匀形核时, 临界晶核和临界半径、形核功和形核率的物理意义。

2. 对于均匀形核, 形核功为: $\Delta G^* = \frac{1}{3} A^* \sigma$ 。此式表示形核功为晶核表面能的 1/3,

即表面能的 1/3 靠系统能量起伏提供, 请回答: 表面能的另外 2/3 由何处提供?

四、根据图 1 所示的铁碳平衡相图, 回答以下问题。(12 分)

1. 写出在 1495℃、1154℃、1148℃、738℃和 727℃发生的三相平衡反应的反应式。

2. 按亚稳态相图, 分别画出含碳量为 0.4%、0.77%、1.2%的碳钢在室温下组织的示意图。

3. 用热分析曲线表示含碳量为 0.2 的低碳钢平衡冷却过程; 并画出该合金在 730℃和 720℃时的组织示意图。

4. 计算含碳量为 1.0%的 Fe-C 合金中二次渗碳体的百分数。

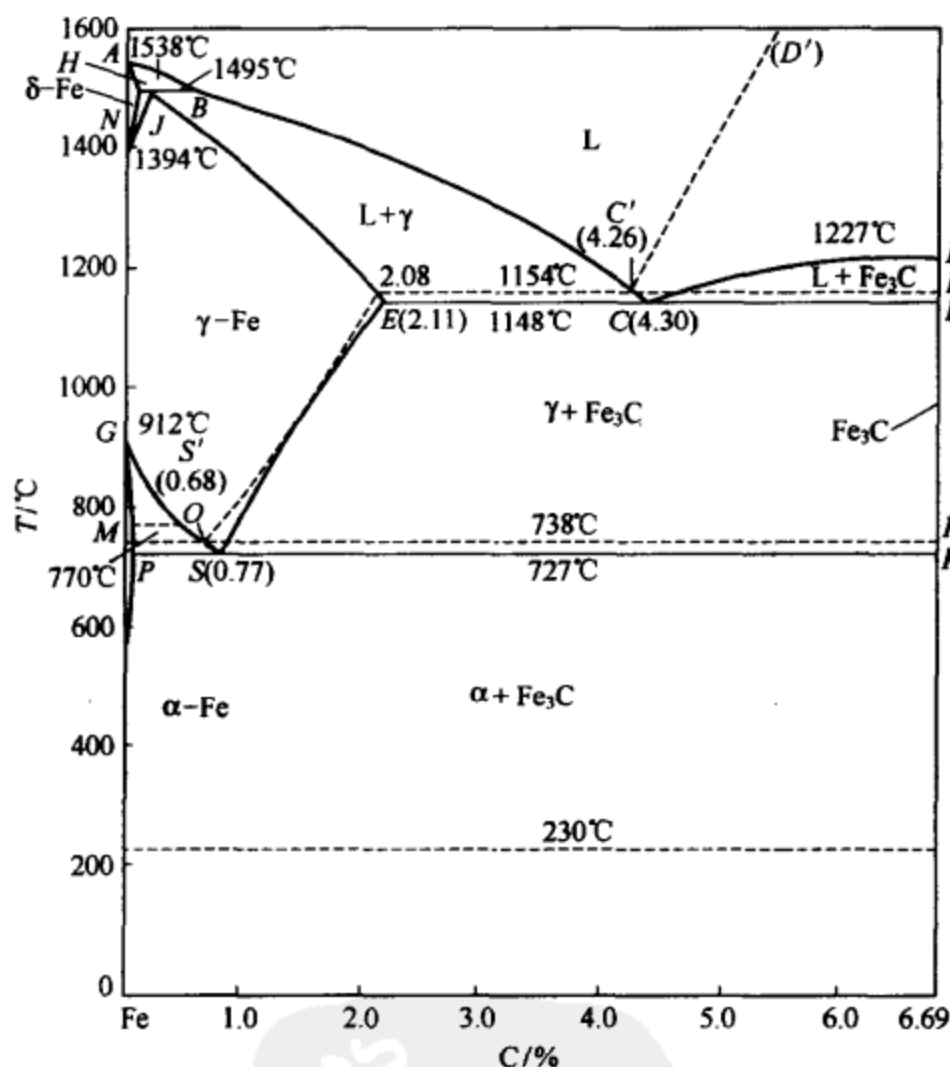


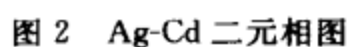
图 1

五、在图 2 所示的 Ag-Cd 二元相图中, 当温度为 736℃、640℃、440℃和 230℃时分别会发生什么样的三相平衡反应? 写出反应式。(6 分)

六、图 3 所示的含 Pb 为 15%的 Sn-Sb-Pb 三元相图的垂直截面中, 温度为 200℃的水平线上发生什么样的平衡反应? 写出反应式。在水平线的上方和下方各有几个三相区? 写出每个三相区的组成相。(6 分)

七、根据图 4 所示的三元相图的投影图, 回答以下问题。(12 分)

1. 该相图中的四相平衡区在什么范围内 (用字母表示)?



4. 图中成分为 R 的合金在平衡冷却过程中是否会发生四相和三相平衡反应？若有，则写出相应的反应式。

八、根据图 5 所示的 Fe-C-W 液相面投影图写出在 P 和 Q 点发生的四相平衡反应的反应式。(4 分)

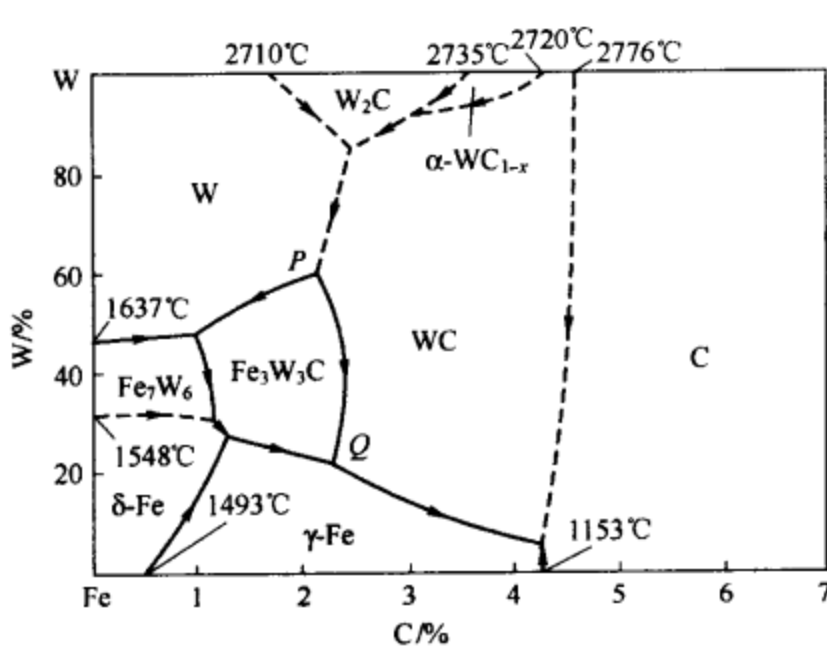


图 5

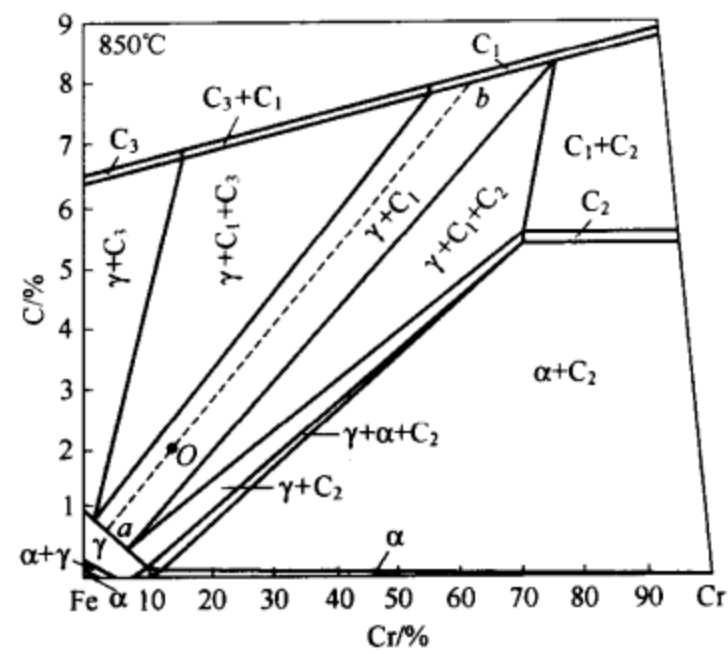


图 6

九、在图 6 所示 Fe-C-Cr 三元系的 850°C 水平截面图中，指出含碳量为 3%，含 Cr 量为 15% 和 20% 的 Fe-Cr-C 合金由几相组成，并分别写出这两种合金的组成相。(5 分)

十、指出图 7 中各二元相图中的错误，说明为什么是错的，并在图上予以纠正。(7 分)

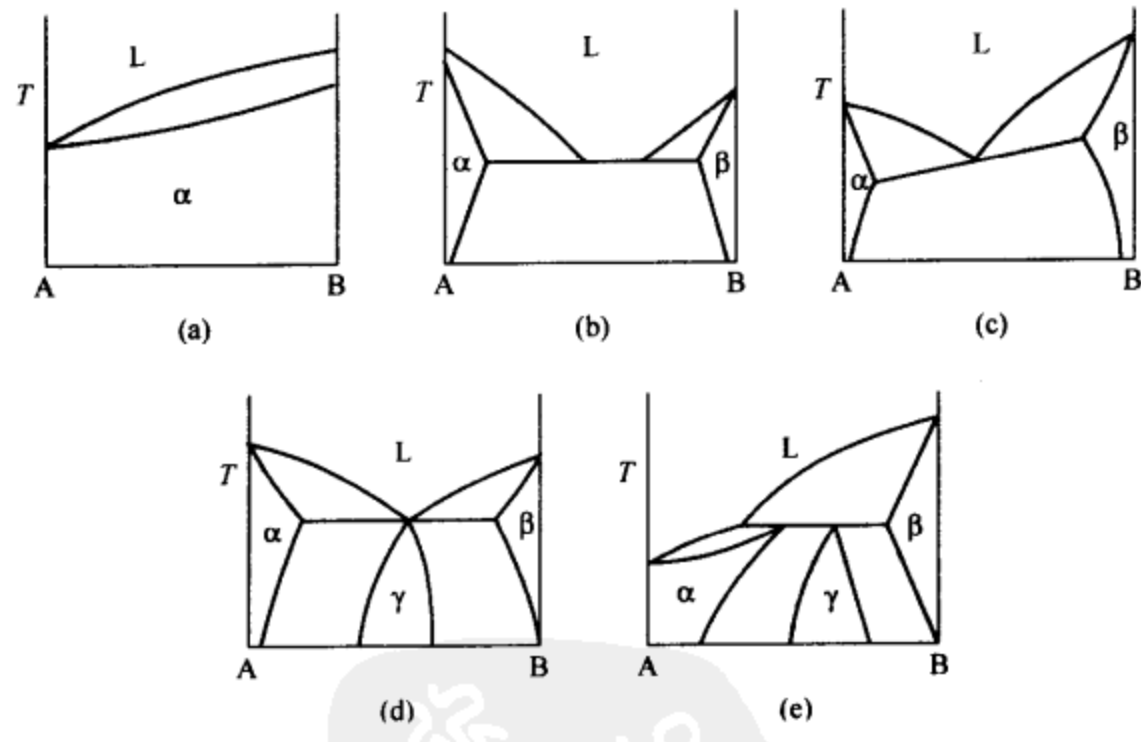


图 7

解 析

试题一解析

一、名词解释 (每小题 2 分, 共 12 分)

1. 金属间化合物: 由不同金属或金属与亚金属组成的一类合金相, 其点阵既不同于溶剂的点阵, 也不同于溶质的点阵, 而属于一种新的点阵。
2. 过冷度: 理论熔点与实际结晶温度的差值。
3. 相变: 从一个相转变成另一个相的过程。
4. 成分过冷: 合金凝固时由于液固界面前沿溶质浓度分布不均匀, 使其实际温度低于其理论熔点而所造成的一种特殊过冷现象。
5. 马氏体: C 溶于 α -Fe 形成的过饱和固溶体, 呈体心四方点阵。
6. 微观偏析: 是在一个晶粒范围内成分不均匀的现象。根据凝固时晶体生长形态的不同, 可分为枝晶偏析、胞状偏析和晶界偏析。

二、简答题 (每题 5 分, 共 50 分)

1. 答: 底心立方不是一种独立的布拉菲点阵, 因为它不符合立方晶系的对称关系, 因此根本不存在。

2. 答: 设 β -黄铜的晶胞参数为 a , 密度为 γ

则
$$a = \frac{(0.13 + 0.14) \times 2}{\sqrt{3}} = 0.3118 \text{ nm} = 3.118 \times 10^{-8} \text{ cm}$$
$$\gamma = \frac{63.54 + 65.38}{6.023 \times 10^{23} \times (3.118)^3 \times (10^{-8})^3} = 7.063 \text{ g/cm}^3$$

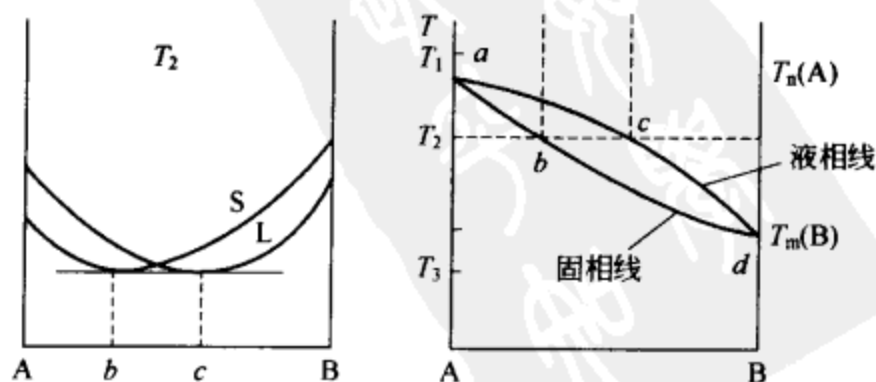
3. 答: 需要一定的孕育期; 是一种成核、长大的过程; 形成有一个上限温度 B_s 与下限温度 B_f ; 高温形成 B_s , 低温形成 B_f 。总之, 贝氏体转变是一种在中温以切变方式进行的、受扩散控制的、恒温形核和恒温长大的转变。

4. 答: 晶体结构变化、化学成分变化、有序化程度的变化。

5. 答: 结晶相、玻璃相和气相。

6. 答: 非晶态合金, 既是金属又是玻璃, 不但强度高, 韧性也好; 具有优异的软磁特性; 优异的耐腐蚀性能。

7. 答: 左图为绘制的二元匀晶相图, 在其两相区任一温度 T_2 画一水平线, 在该温度 T_2 下的自由能-成分曲线 (即 $G-X$ 曲线) 如左图所示。

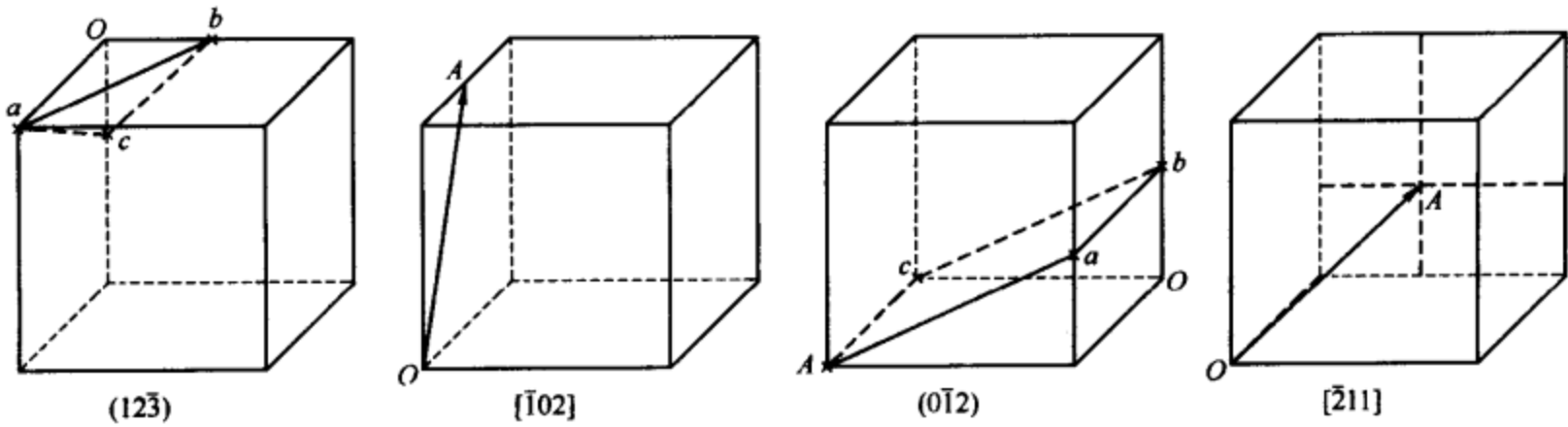


8. 答: 必须有过冷度、能量起伏、结构起伏。

9. 答：45 钢硬度比 T8 低，塑性比 T8 高；因为与 45 钢相比，T8 钢碳含量高，所以硬而脆的 Fe_3C 相就多。

10. 答：垂直提升法和下移法。

三、(6 分)

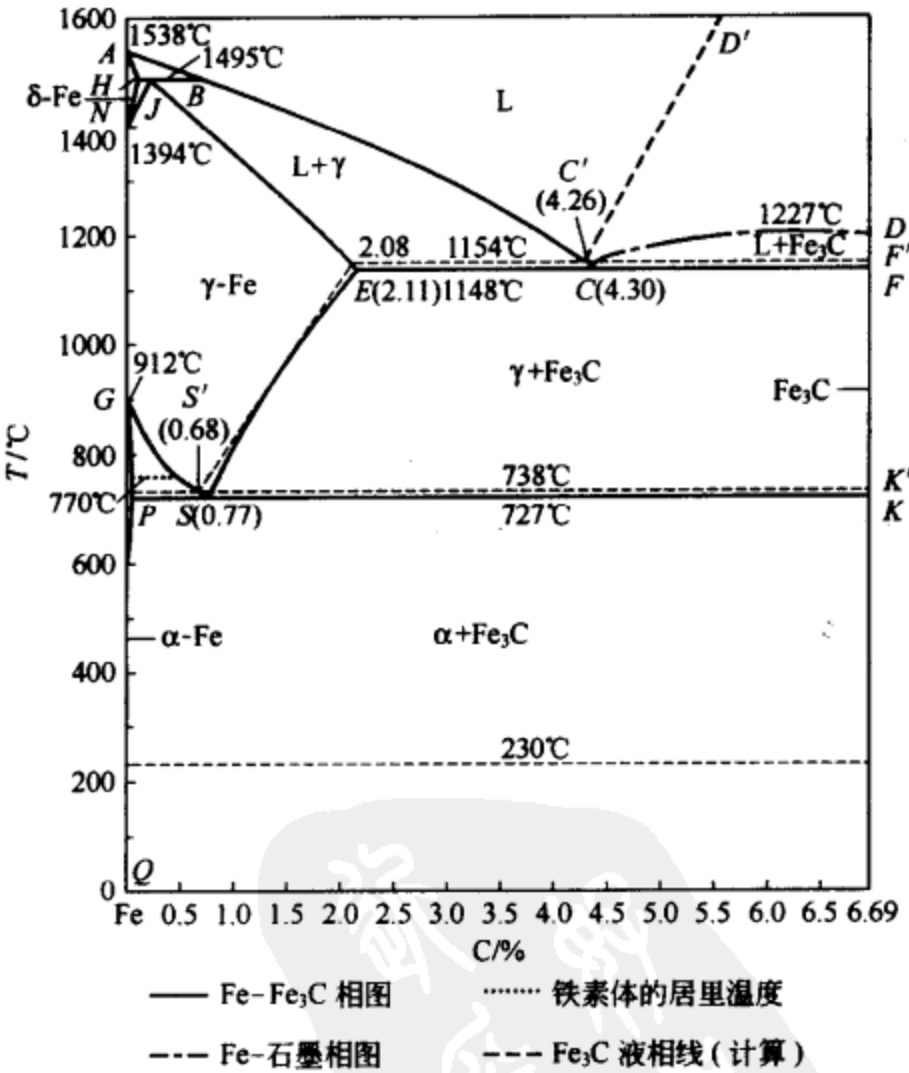


四、(8 分)

答： $a^* = -4\sigma / \Delta G_V$ ， $\Delta G^* = 32\sigma^3 / (\Delta G_V)^2$ 。

五、

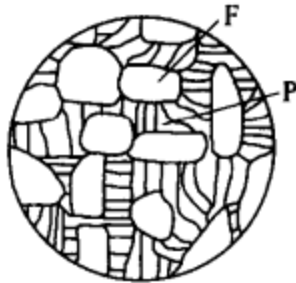
1. (8 分)

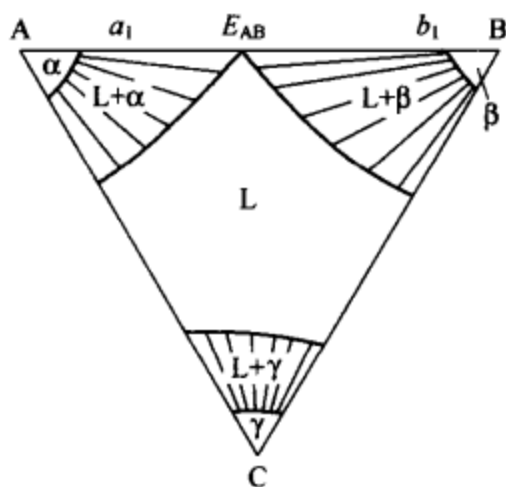


2. (8 分) 答：组织组成物含量 $F\% = 76\%$ ； $P\% = 24\%$ 。
相组成物含量 $F\% = 97.3\%$ ； $\text{Fe}_3\text{C}\% = 2.7\%$ 。

六、

1. (4 分)





2. (4分) 答:

I. $\alpha + \beta$; II. $\alpha + \beta + \gamma$; III. $\alpha + (\alpha + \beta) + \gamma$; IV. $\alpha + (\alpha + \beta) + (\alpha + \beta + \gamma)$ 。

试题二解析

一、名词解释 (每小题 2 分, 共 12 分)

1. 固溶体: 在合金相中, 组成合金的异类原子以不同比例均匀混合, 混合后形成的合金相的点阵与组成合金的溶剂组元结构相同。

2. 热分析法: 将金属或合金加热使之熔化成液体, 然后缓慢冷却, 记录温度-时间关系曲线的这种实验方法。

3. 相: 从组织角度说明合金中具有同一聚集状态、同一结构, 以及成分、性质完全相同的均匀组成部分。

4. 定向凝固: 采用一定装置使金属或合金液体的结晶从一定部位开始, 并且沿一定方向进行长大的结晶 (或凝固) 过程。

5. 贝氏体转变: 是一种在中温以切变方式进行的、受扩散控制的、恒温形核和恒温长大的转变。

6. 偏析: 合金凝固时会发生溶质原子重新分布, 在非平衡凝固条件下, 溶质原子来不及重新分布, 使得先后结晶的固相中成分不均匀, 即为偏析, 它可分为宏观偏析和微观偏析。

二、简答题 (每题 5 分, 共 50 分)

1. 答: 不是, 与简单单斜是同一类点阵。

2. 答: 铝在室温下为面心立方结构, 每个晶胞中有 4 个原子, 设其密度为 γ , 则

$$\gamma = \frac{26.97}{6.023 \times 10^{23} \times \frac{1}{4} \times \left(\frac{4 \times 0.143}{\sqrt{2}} \times 10^{-7} \right)^3} = 2.7 \text{ g/cm}^3$$

3. 答: 切变共格与表面浮凸; 无扩散型相变; 转变有一个过程; 具有可逆性。

4. 答: 相变过程有原子的扩散; 新相与母相成分不同; 只有体积变化没有形状改变。

5. 答: 结晶相、玻璃相和气相。

6. 答: 热塑性塑料为线型分子结构, 可熔可溶; 热固性塑料为体型 (或网型) 分子结构, 不熔不溶。

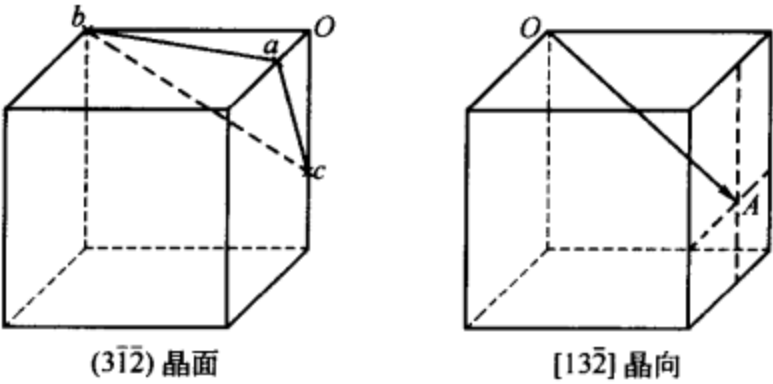
7. 答: 增加过冷度; 加变质剂; 附加振动。

8. 答: 整链运动、链段运动、链节运动。熔体流动、高弹性态、坚硬的性状等。

9. 答: 细晶区; 过冷度大。

10. 答: 不能用蒸馏法或结晶法纯化; 难溶或根本不溶; 具有一定的力学性能; 化学稳定性较好, 具有耐酸、耐腐蚀特性。

三、(6 分)



四、(8 分)

证明：设球形晶胚半径为 σ

则有：
$$\Delta G = -\Delta G_v V + \sigma A = -\Delta G \frac{4}{3} \pi r^3 + \sigma 4 \pi r^2$$

$$\frac{d(\Delta G)}{dr} = -\Delta G 4 \pi r^2 + \sigma 8 \pi r$$

令

$$\frac{d(\Delta G)}{dr} = 0$$

得

$$r^* = \frac{2\sigma}{\Delta G_v}$$

所以有
$$\Delta G^* = -\Delta G_v \frac{4}{3} \pi r^{*3} + \sigma 4 \pi r^{*2} = \frac{16 \pi \sigma^3}{3 \Delta G_v^2}$$

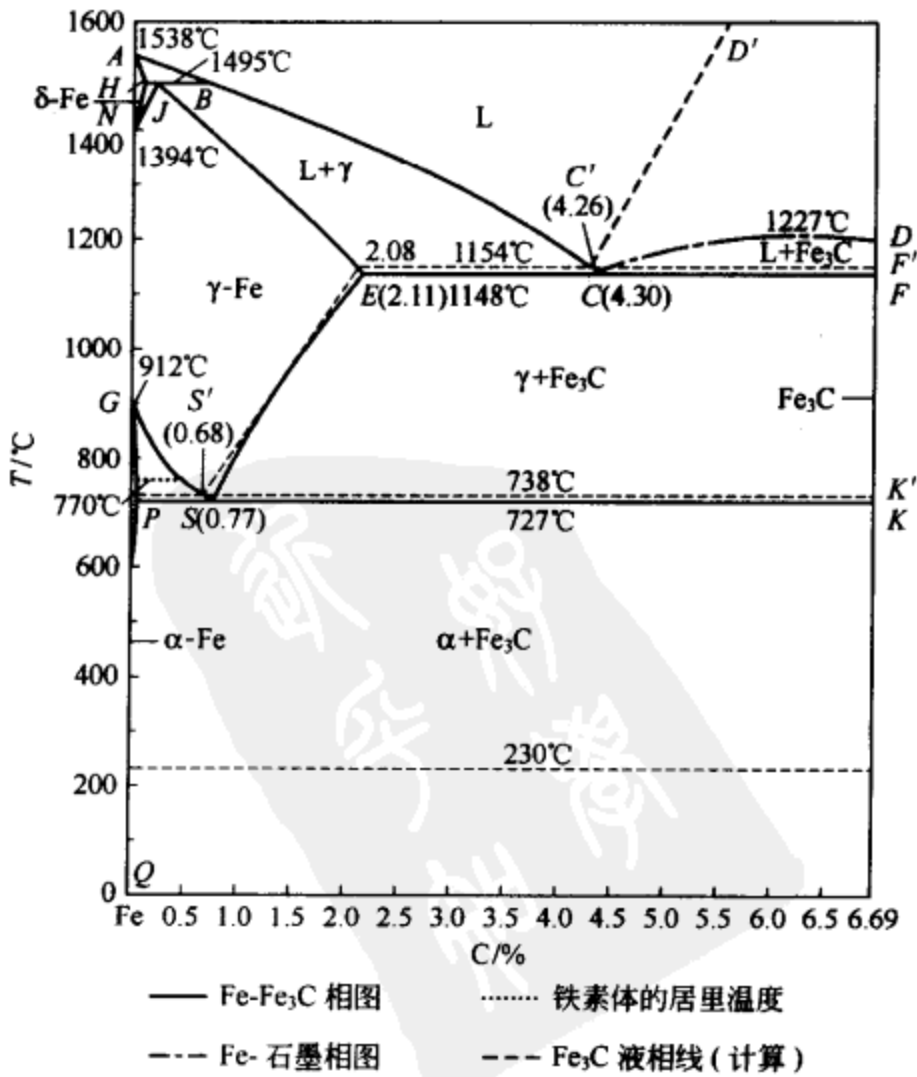
$$V^* = \frac{4}{3} \pi r^{*3} = \frac{4 \pi}{3} \left(\frac{2\sigma}{\Delta G_v} \right)^3 = \frac{32 \pi \sigma^3}{3 \Delta G_v^3}$$

故

$$\Delta G^* = -\frac{1}{2} V^* \Delta G_v$$

五、

1. (8 分)

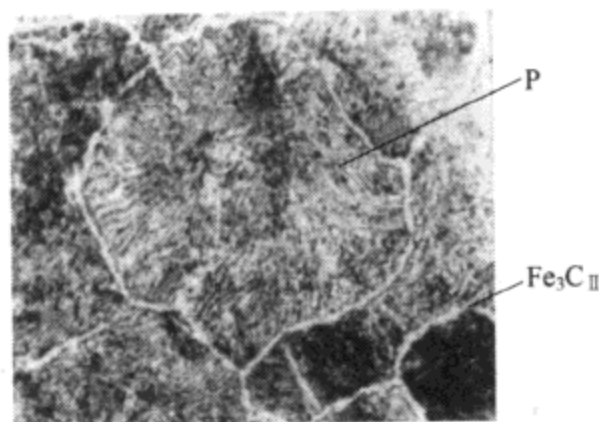


2. (8 分)

答：组织组成物含量根据杠杆定律可求得

$$\text{Fe}_3\text{C}\% = 3.9\%; \text{P}\% = 96.1\%.$$

$$\text{相组成物含量 } F\% = 85.3\%; \text{Fe}_3\text{C}\% = 14.7\%.$$



六、(8 分)

答： $L \rightarrow \alpha + S + \theta(E_T)$; $L + Q \rightarrow S + T(P_1)$; $L + S \rightarrow \alpha + T(P_2)$; $L \rightarrow \alpha + \beta + T(E_U)$ 。

试题三解析

一、名词解释 (4 分, 每小题 2 分)

1. 相：从组织角度说明合金中具有同一聚集状态、同一结构，以及成分、性质完全相同的均匀组成部分。

2. 固溶强化：固溶体的成分可在一定范围内连续变化，随异类原子的溶入，将引起溶剂晶格常数的改变及晶格畸变，致使固溶体的强度和硬度升高，而塑性和韧性稍有降低的现象叫固溶强化。

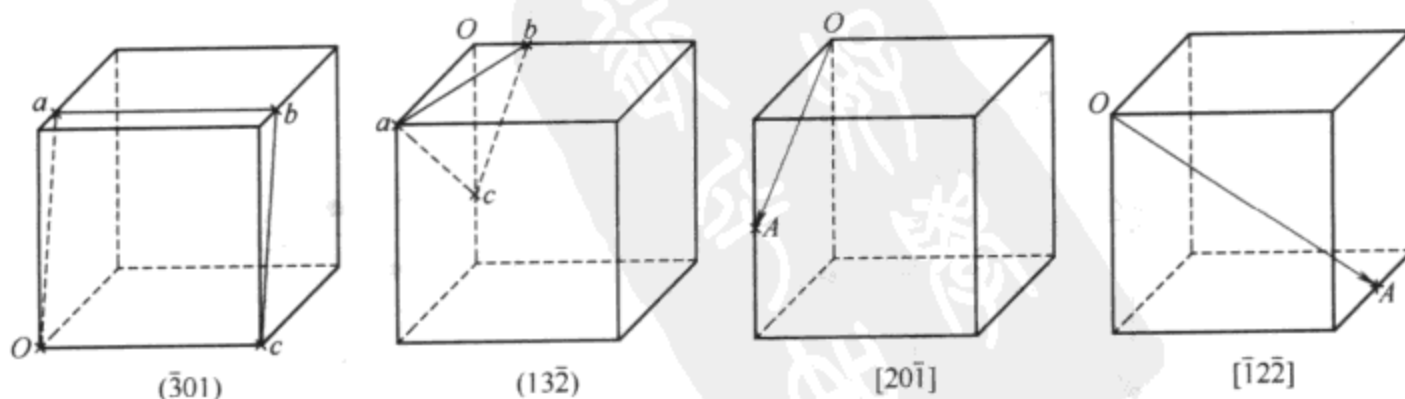
二、简答题 (67 分)

1. (2 分) 答：将晶体结构中某一类等同点挑选出来，它们有规则地、周期性重复排列所形成的空间几何图形即称为空间点阵。空间点阵 + 结构基元 \rightarrow 晶体结构。

2. (4 分) 答：14 种；7 大晶系；铜属于 FCC。

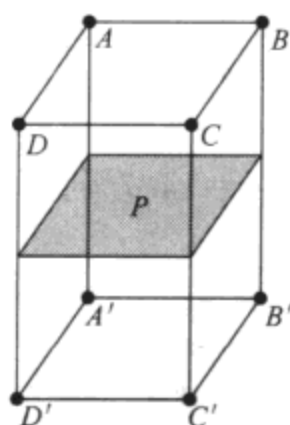
3. (3 分) 答： (110) 、 (101) 、 (011) 、 $(0\bar{1}1)$ 、 $(\bar{1}01)$ 、 $(1\bar{1}0)$ 。

4. (4 分)

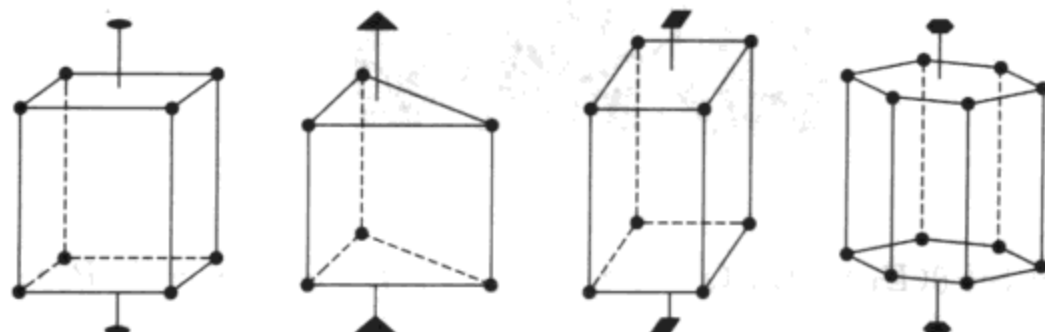


5. (3 分) 答：是； $[112]$ ； $(1\bar{1}0)$ 。

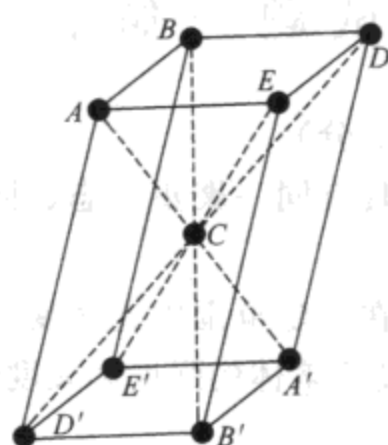
6. (3 分) 答：(1) 对称面 (用符号 “m” 表示)。



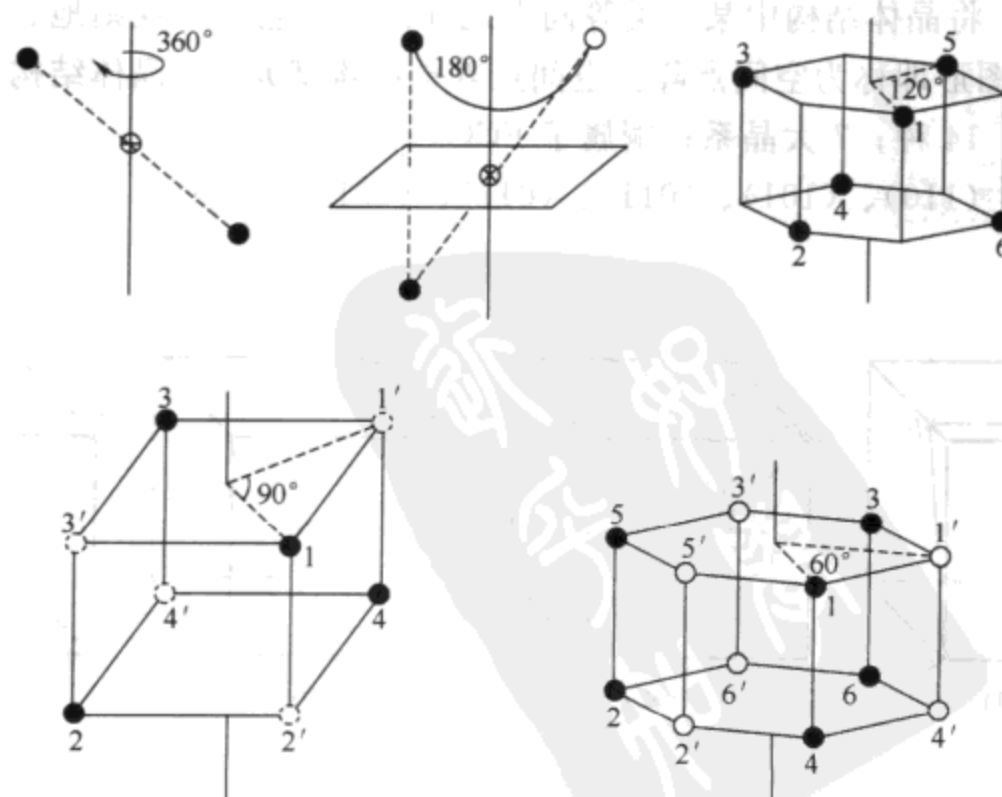
(2) 对称轴 (L_n)



(3) 对称中心 (i)



(4) 旋转反演轴 (L_i^n)



7. (3 分) 答: 第三指数为 0。属于同一晶带。

8. (3分) 答: 金属键没有方向性, 正离子之间改变相对位置并不会破坏电子与正离子之间的结合力, 因而金属具有良好的塑性。

9. (4分) 答: 铁在室温下为 BCC 结构, 每个晶胞中有 2 个原子, 令其密度为 γ , 则

$$\gamma = \frac{55.84}{6.023 \times 10^{23} \times \frac{1}{2} (2.863)^3 \times (10^{-8})^3} = 7.9 \text{ g/cm}^3$$

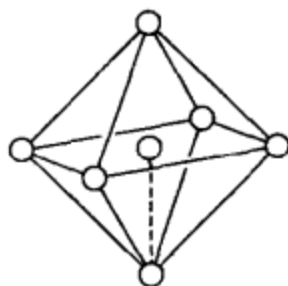
10. (5分) 答: 以合金中某一组元为溶剂, 其他组元为溶质, 所形成的与溶剂有相同晶体结构、晶格常数稍有变化的固相称为固溶体。

依溶质在溶剂中位置, 可分为置换和间隙固溶体; 依溶解度大小, 可分为有限和无限固溶体; 依溶质的分布特点, 可分为有序和无序固溶体; 依溶剂组元的类型, 可分为第一类和第二类固溶体。

11. (3分) 答: 晶体结构相同是组元间形成无限固溶体的必要条件; 对有限固溶体, 若溶质与溶剂的晶体结构相同, 则溶解度通常较大, 否则, 反之。

12. (3分) 答: 其晶体结构完全不同于纯组元, 一般含有离子键、共价键等强结合键。

13. (3分) 答: NaCl 结构可视为由 Cl^- 的配位八面体连接成, Na^+ 占据全部氯八面体中央, NaCl 晶格就是由钠氯八面体 $[\text{NaCl}_6]$ 按一定方式连接成, 故配位多面体才是离子晶体真正的结构基元, 如下图所示。



14. (3分) 答: 刚玉为三方晶系, 6:4 配位, 单位晶胞较大, 且结构较复杂, O^{2-} 的排列大体上为 HCP 结构, 其中八面体间隙位置的 2/3 被 Al^{3+} 有规律地占据, 空位均匀分布, 这样六层构成一个完整周期, 多个周期堆积起来形成刚玉结构。

15. (4分) 答: 键的内旋使大分子链的空间形状每时每刻都在变化着, 时而蜷曲时而伸展, 由于内旋转的缘故, 大分子链总是要蜷曲成无规则线团状, 不同的大分子链的内旋转能力差别很大, 故各种分子链的蜷曲倾向差别也很大。用柔性来表征大分子链的蜷曲特性, 大分子链内旋转阻力小的称为柔性链, 内旋转阻力大的称之为刚性链。

主链结构和侧基性质。

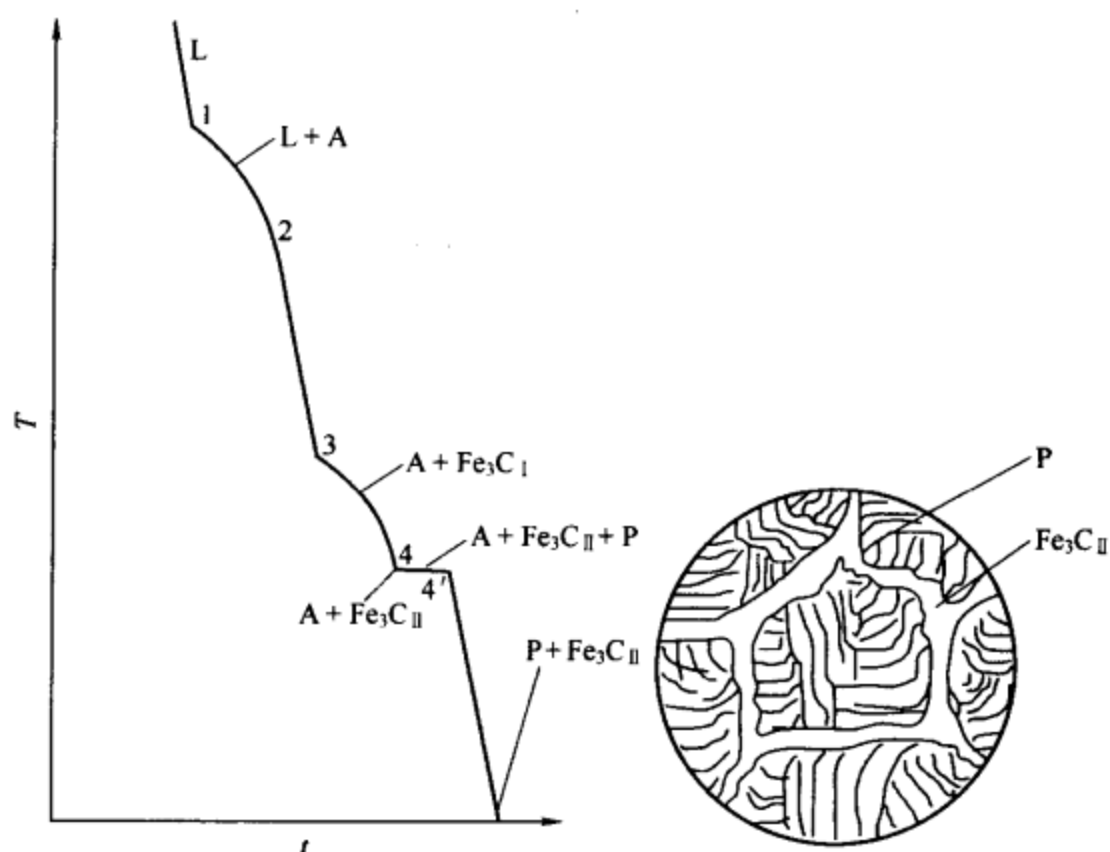
16. (4分) 答: 高聚物是各种长度不同, 分子量不同, 化学组成相同的同系高分子混合物, 即高分子化合物总是由不同大小的分子组成。

M_w 增大, 高聚物机械强度提高, 但分子量太大又会使其熔融黏度增大, 流动性差, 给加工成型带来困难, 特别是用于涂料的高聚物, 其分子量过大将给施工带来不便, 更要进行严格的控制。在 M_w 基本相同的情况下, M 分布宽, 高聚物的熔融温度范围宽, 有利于加工成型; M 分布窄, 其制品往往具有某些方面较好的性能, 如抗开裂性较好等。 M_w 大小及 M 分布情况要由制备高聚物的反应条件和反应机理来决定。

17. (3分) 答: 结晶高聚物由晶区和非晶区组成, 而每个高分子链可以贯穿几个晶区和非晶区。在晶区中分子链整齐排列成晶体, 在非晶区中分子链处于无序状态。

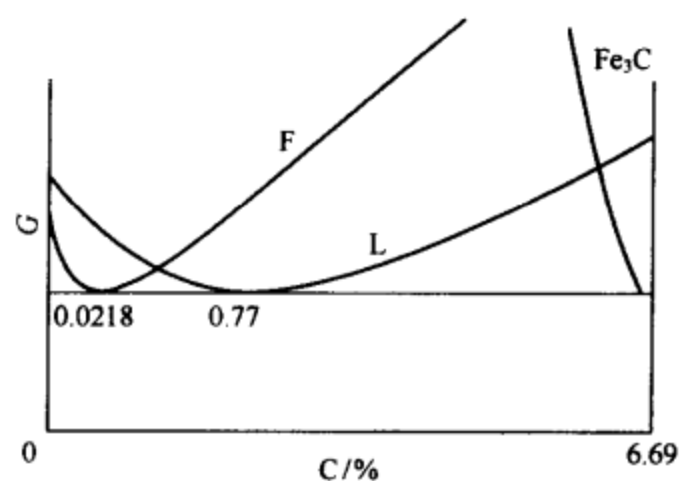
18. (3分) 答: 从热力学考虑, ΔT 越大, r^* 及 ΔG 越小, 因而需要的能量起伏小, 满足 $r \geq r^*$ 的晶胚数越多, 稳定晶核容易形成, 则形核率越高; 从动力学考虑, 晶核形成需要

2. (4 分)

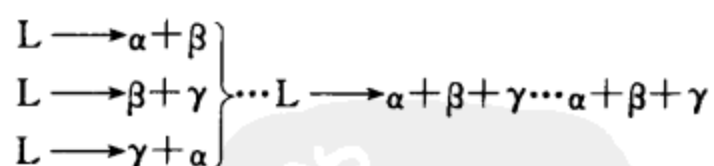


$$P = (6.69 - 1.2) / (6.69 - 0.77) = 92.3\%; \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}} = 7.7\%.$$

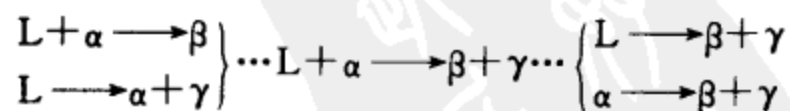
3. (2 分)



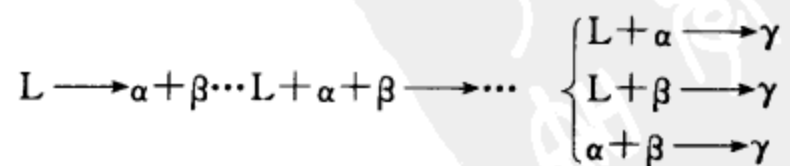
五、(9 分) (1) 四相平衡 (偏) 共晶 (析) 转变平面



(2) 四相平衡包共晶 (析) 转变平面

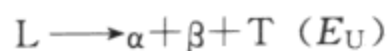


(3) 四相平衡包晶 (析) 转变平面



六、(4 分)





试题四解析

一、名词解释 (4 分, 每小题 2 分)

1. 组织: 指的是在外界因素、成分等条件一定的情况下, 组成合金的不同成分、结构和性能的相的总体。

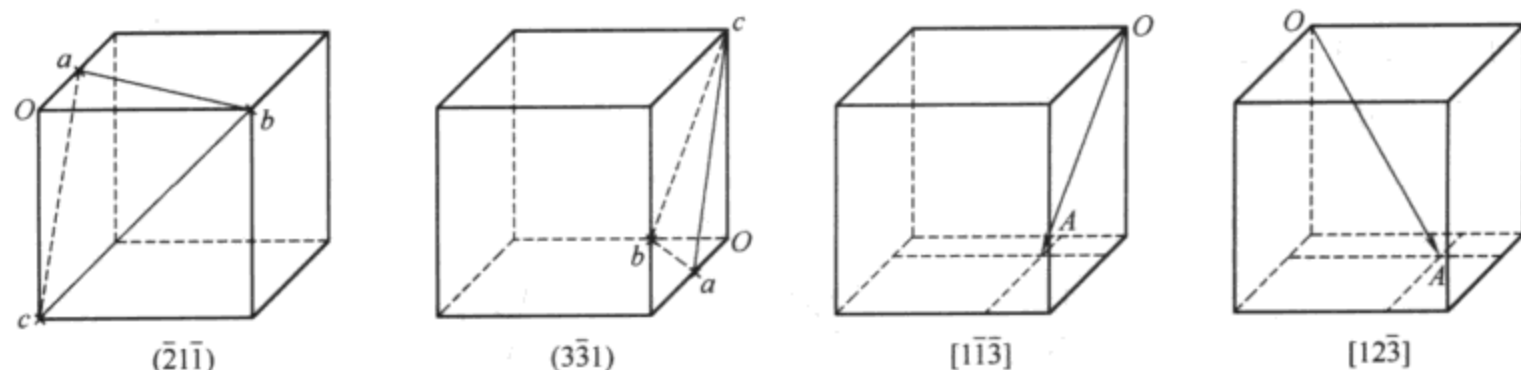
2. 有序强化: 有序固溶体中结合键 A—B 键的结合力必然大于无序固溶体中结合键 A—A 和 B—B 键的结合力, 故有序固溶体要破坏大量的 A—B 键而发生塑性变形和断裂就比无序固溶困难得多, 此现象也叫有序强化。它是利用反相畴界的强化作用而使固溶体强度、硬度提高。

二、简答题 (70 分)

1. (4 分) 答: $a \neq b \neq c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ 。铁属于 BCC 和 FCC。

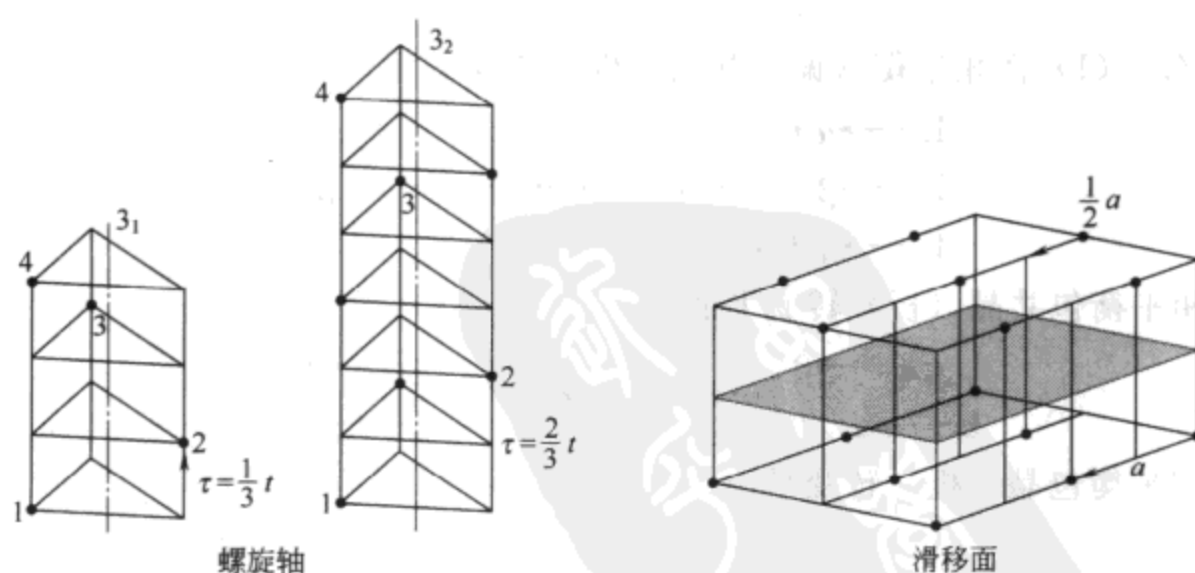
2. (3 分) 答: $[110]$ 、 $[\bar{1}10]$ 、 $[101]$ 、 $[\bar{1}01]$ 、 $[011]$ 、 $[01\bar{1}]$ 。

3. (4 分)



4. (4 分) 答: (121) 和 $(100) \rightarrow [01\bar{2}]$; (001) 和 $(111) \rightarrow [1\bar{1}0]$; $[01\bar{2}]$ 和 $[1\bar{1}0] \rightarrow (221)$ 。

5. (4 分) 答: (1) 螺旋轴; (2) 滑移面。



6. (3 分) 答: 应用两次晶带轴定律即可解释。

7. (4 分) 答: 共价键有方向性; 没有自由电子。

8. (4 分) 答: FCC 和 HCP。FCC 可以, 而 HCP 不可以, HCP 实质属于简单六方。

9. (4 分)

晶体结构	八面体间隙		四面体间隙	
	间隙数	r_B/r_A	间隙数	r_B/r_A
BCC	6	0.155	12	0.291
FCC	4	0.414	8	0.225
HCP	6	0.414	12	0.225

10. (4 分) 答：对 FCC 的 $\gamma\text{-Fe}$, $\sqrt{2}a=4R$,

$$R=\frac{\sqrt{2}}{4}a=\frac{\sqrt{2}}{4}\times 0.3633=0.1284\text{ (nm)}$$

对 BCC 的 $\alpha\text{-Fe}$, $\sqrt{3}a=4R$,

$$R=\frac{\sqrt{3}}{4}a=\frac{\sqrt{3}}{4}\times 0.2892=0.1251\text{ (nm)}$$

11. (4 分) 答：化合物是由两种或多种组元按一定比例构成一个新的点阵，它既不是溶剂的点阵，也不是溶质的点阵；中间相主要包括：服从原子价规律的正常价化合物；电子浓度起控制作用的电子化合物；原子尺寸因素为主要控制因素的间隙相、间隙化合物和拓扑密堆相以及有序固溶体（超结构）等。

12. (3 分) 答：组元间的电负性差越小，置换固溶体的溶解度越大。

13. (3 分) 答：当原子半径比较小的非金属元素作为溶质溶入金属或化合物的溶剂中时，这些小的溶质原子不占有溶剂晶格的结点位置，而存在于间隙位置，形成间隙固溶体。

形成间隙固溶体的条件有①溶剂：大多是过渡族元素；溶质：一般是原子半径小于 0.1nm 的一些非金属元素，即氢 0.046、氧 0.061、氮 0.071、碳 0.077、硼 0.097 等；②保证 $\Delta R>41\%$ ；③电负性差不大。

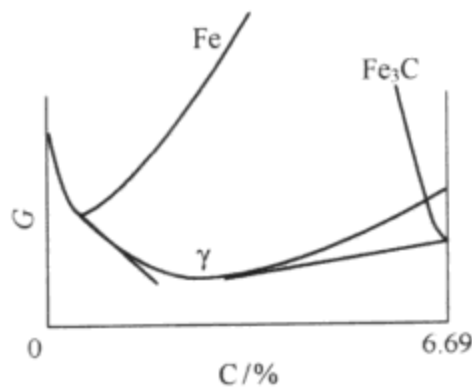
14. (4 分) 答：电子化合物。它是复杂的立方结构，每个晶胞中有 52 个原子，其中包括 20 个铜原子和 32 个锌原子。可以把它看作是由 27 个体心立方晶胞所组成的大晶胞变来的。即将这一大晶胞的中心和八个顶点的原子取走，再适当调整其余原子的位置即可。

15. (4 分) 答：在刚玉结构中，氧离子的排列为 HCP 结构，其中八面体间隙位置的 2/3 被铝离子所占据，将这些铝阳离子用 Fe、Ti 两种阳离子置换，形成 Fe 层与 Ti 层交互排列构成钛铁矿结构。

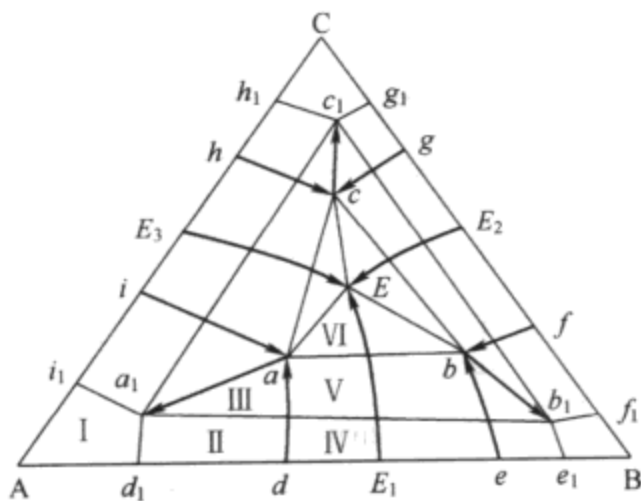
16. (3 分) 答：可以分成岛状、组群状、链状、层状和架状几种方式。

17. (4 分) 答：(1) 整链的运动 像小分子一样，大分子链的整体产生质量中心的移动，如熔融高聚物中的众多链的整体运动产生的熔体流动。(2) 链段的运动 由于柔性分子链中的内旋转特性，在大分子链整链质量中心不移动的条件下，可以实现某些链段（由几个至几十个链节组成的一小段分子链）相对于另一些链段的运动。这种链段热运动是高聚物的重要特点，正是由于链段的热运动才使得高分子材料出现了高弹态，并且具有橡胶弹性等特殊力学行为。(3) 链节的运动 链节是组成分子链的基本结构单元，它是比链段更小的热运动单元。

3. (2 分)

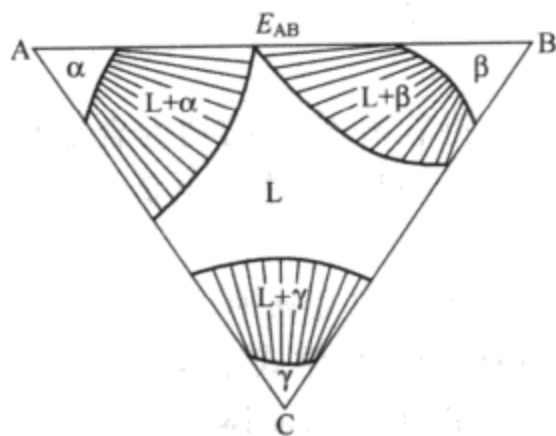


五、1. (6 分)

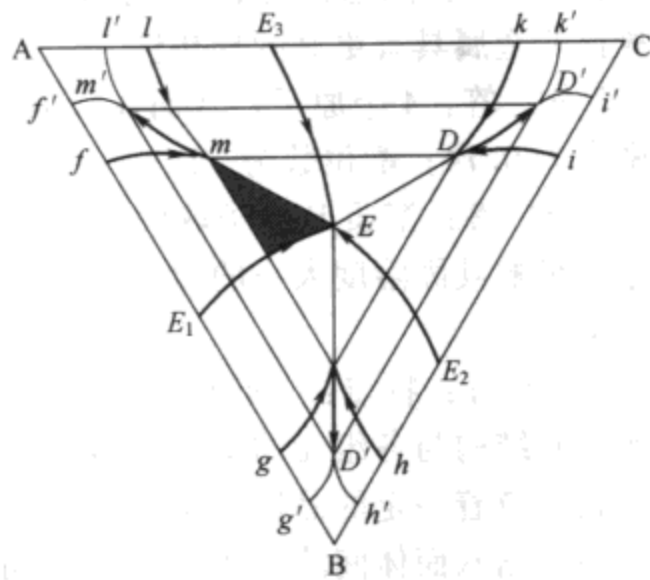


I — α ; II — $\alpha + \beta$; III — $\alpha + \beta + \gamma$;
IV — $\alpha + (\alpha + \beta)$; V — $\alpha + (\alpha + \beta) +$
少量固 γ ; VI — $\alpha + (\alpha + \beta) + (\alpha + \beta + \gamma)$

2. (2 分)



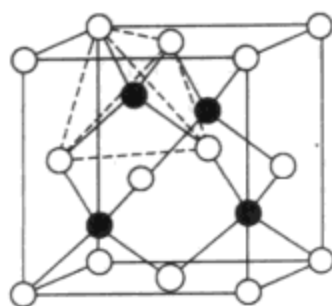
3. (2 分)



试题五解析

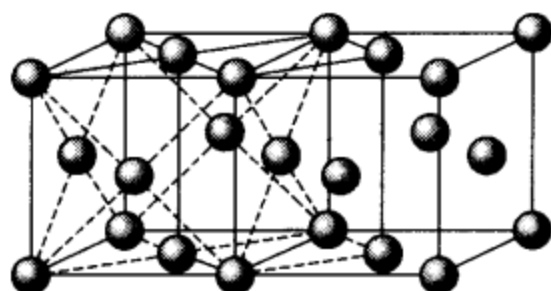
注意：选做 19 题，第 21 题 10 分，其余每题 5 分，其中带 * 的为必做题目。

1.* (5 分)

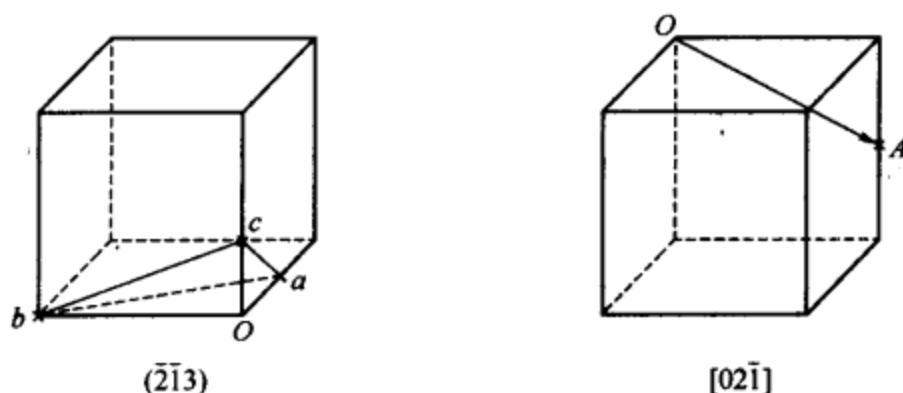


2. (5分) 答: 6_2 螺旋轴相应的对称变换为, 围绕旋转轴旋转 60° 和沿此轴向平移 $2/6$ 结点间距。

3.* (5分)



4.* (5分)



5. (5分) 答: $u = k_1 l_2 - k_2 l_1$, $v = l_1 h_2 - l_2 h_1$, $w = h_1 k_2 - h_2 k_1$ 。

6. (5分) 答: 固态金属中, 不仅正离子的振动可传递热能, 而且电子的运动也能传递热能, 故比非金属具有更好的导热性。

7.* (5分) 答: 4个原子, 八面体间隙 (4个), 四面体间隙 (8个)。

致密度为 0.74; 配位数为 12。

8. (5分) 答: 溶质 B 原子取代溶剂 A 原子, 而且保持着溶剂 A 结构的合金相就叫置换固溶体。影响其固溶度大小的因素有: 晶体结构因素、原子尺寸因素、电负性差因素、电子浓度因素。

9. (5分) 答: 特点: $\Delta R > 41\%$; 电负性差较大; 间隙相中金属原子组成简单点阵类型的结构, 此结构与各组元的结构均不相同; 间隙相可用简单的化学式来表达, 而且一定的化学表达式对应着一定的晶体结构类型, 除 H 比较小有可能填入四面体间隙以外, 其他非金属原子均占据八面体间隙位置, H 也有可能成对填入八面体间隙; 尽管间隙相可以用简单的化学式表示, 但大多数间隙相的成分可以在一定范围内变化; 在间隙相中虽然非金属元素含量较高, 甚至可能超过 50%, 但它们仍具有明显的金属特性。

性能: 具有极高硬度 (HV1500~3000) 和熔点 (2500~4000℃), 但很脆, 许多间隙相具有明显的金属特性, 如金属的光泽、较高的导电性、正的电阻温度系数。

应用: 合金工具钢和硬质合金中的重要相; 表面强化; 作为手表表壳、眼镜框的表面装饰覆层等。

10. (5分) 答: 层状结构: 较大的类金属原子的 A3 结构 + 较小的过渡族金属原子的简单六方点阵; 较小的过渡族金属原子占据较大的类金属原子的 A3 结构的八面体间隙位置。

11.* (5分) 答: 四方晶系, 结构中的 $[\text{SiO}_4]^{4-}$ 孤立存在, 它们之间通过 Zr^{4+} 而联系起来, 每一个 Zr^{4+} 填充在 8 个 O^{2-} 之间, 锆英石具有较高的耐火度, 可用于制造锆质耐火材料。

12. (5分) 答: 刚玉为三方晶系, 6:4 配位, 单位晶胞较大, 且结构较复杂, O^{2-} 的排

列大体上为 HCP 结构，其中八面体间隙位置的 $2/3$ 被 Al^{3+} 有规律地占据，空位均匀分布，这样六层构成一个完整周期，多个周期堆积起来形成刚玉结构。

13. (5 分) 答：在液固界面前沿，由于液相成分变化与实际温度分布所决定的特殊过冷现象称为成分过冷。成分过冷由小到大，液-固界面的形貌由平面状向胞状和树枝状转变。

14.* (5 分) 答：(1) 整链的运动 像小分子一样，大分子链的整体产生质量中心的移动，如熔融高聚物中的众多链的整体运动产生的熔体流动。(2) 链段的运动 由于柔性分子链中的内旋转特性，在大分子链整链质量中心不移动的条件下，可以实现某些链段（由几个至几十个链节组成的一小段分子链）相对于另一些链段的运动。这种链段热运动是高聚物的重要特点，正是由于链段的热运动才使得高分子材料出现了高弹态，并且具有橡胶弹性等特殊力学行为。(3) 链节的运动 链节是组成分子链的基本结构单元，它是比链段更小的热运动单元。

15. (5 分) 答：高聚物的结构特点：①大分子链是由众多 ($10^3 \sim 10^5$ 数量级) 简单结构单元重复连接而成的，链的长度是链直径的 10^4 倍；②大分子链具有柔性，可弯曲；③大分子链间以分子键结合在一起，或通过链间化学键交联在一起，范德瓦耳斯键和交联情况对性能有很大影响；④高聚物中大分子链聚集态结构有晶态和非晶态。

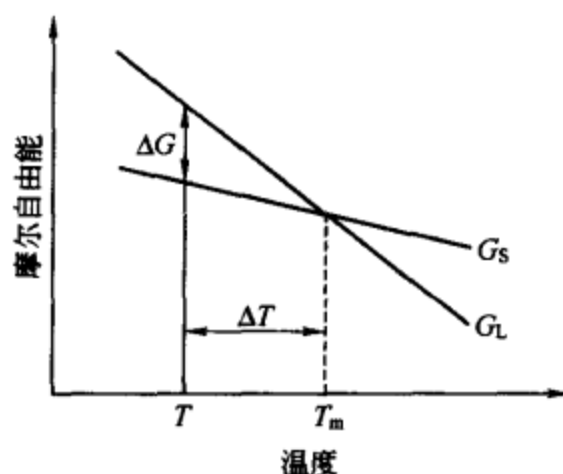
影响高聚物结晶度的因素：温度、大分子链结构和分子量、应力、溶剂、冷却速度、杂质和填料。

16.* (5 分)

答：纯金属液固转变的驱动力是液固两相自由能差。如右图和推导式所示，液固两相自由能差 ΔG 与过冷度 ΔT 成正比，所以说过冷度越大，这个相变的驱动力也越大。

$$\begin{aligned}\Delta G &= \Delta H - T\Delta S = -L_m - T(-L_m)/T_m \\ &= L_m(T - T_m)/T_m = L_m\Delta T/T_m\end{aligned}$$

17. (5 分) 答：当过冷金属熔液中晶胚出现时，一方面使体系的体积自由能降低，另一方面又增加了表面能，因此体系总自由能的变化为： $\Delta G = \Delta G_v V + \sigma A$ ， $\Delta G^* = \sigma A^*/3$ 。临界形核功用来补偿增加的 $1/3$ 表面能。



靠近熔点处液相与固相之间的自由能差，忽略了 G_S 和 G_L 线的曲率

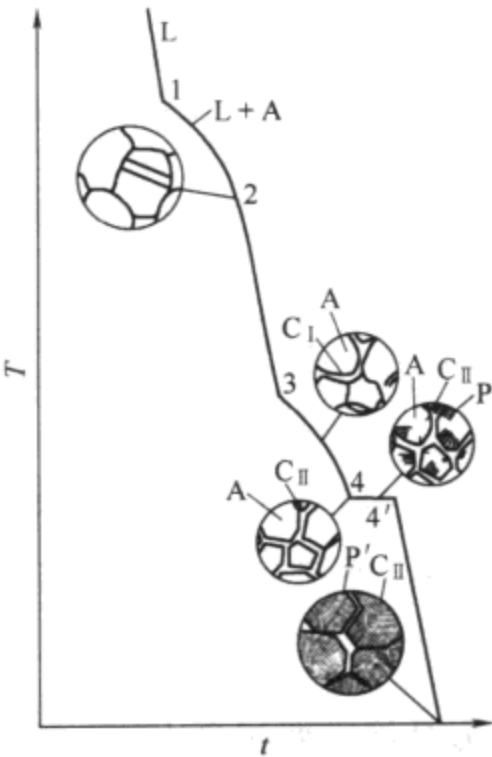
18. (5 分) 答：根据相律 $F = C - P + 1$ 得，当 $C = 2$ ， $P = 3$ 时， $F = 0$ 。所以温度恒定不变。

19.* (5 分) 答：叶蜡石 $\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ 层间水容易嵌入，成为蒙脱石 $\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 结构。由于层间水插入晶格内，在 c 轴方向得到扩大。

20. (5 分) 答：(1) 表层等轴细晶区 浇注后，接触锭模表面的液态金属急剧冷却，造成很大的过冷度，这样便在最外层形成大量的晶核。再加上模壁的凹凸不平可作为非自发晶核形成的基底，所以在外层形成等轴细晶区。(2) 柱状晶区 随着细晶区的形成和内部热量的向外传递，表面温度逐渐升高，在铸锭内部形成一定的温度梯度。这样便在细晶的基础上部分晶粒向里生长形成柱状晶。由于晶体各方向生长的速度不同，各晶粒向里生长的速度也不同。那些生长最快的晶向与温度梯度方向（垂直于铸锭表面）一致的晶粒向前生长的快些，而最快生长方向与温度梯度的夹角较大的晶粒将逐渐被排挤掉。所以随着柱状晶的生长晶粒数逐渐减少，而每个晶粒逐渐变粗。(3) 中心等轴粗晶区 在柱状晶生长阶段，由于液-固界面前沿的液相中溶质原子的富集，形成成分过冷区。而且柱状晶越发展

温度梯度越小，则成分过冷区越来越宽。当铸锭内四周的柱状晶都向锭心发展并达到一定的位置时，由于成分过冷的增大，使铸锭心部的溶液都处于过冷状态，都达到非均匀成核的过冷度，便开始形成许多晶核，沿着各个方向均匀生长，这样就阻碍了柱状晶区的发展，形成中心等轴晶区。

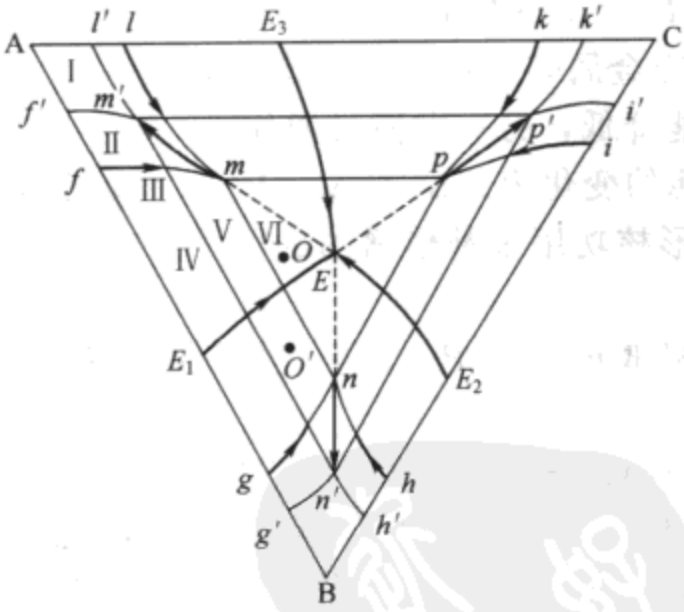
21.* (10 分)



$P = (6.69 - 1.0) / (6.69 - 0.77) = 96.1\%$; $Fe_3C_{II} = 3.9\%$ 。

22.* (5 分) 答： $\alpha + \beta + \gamma \longrightarrow \delta$ ；上面 1 个，下面 3 个。

23. (5 分)

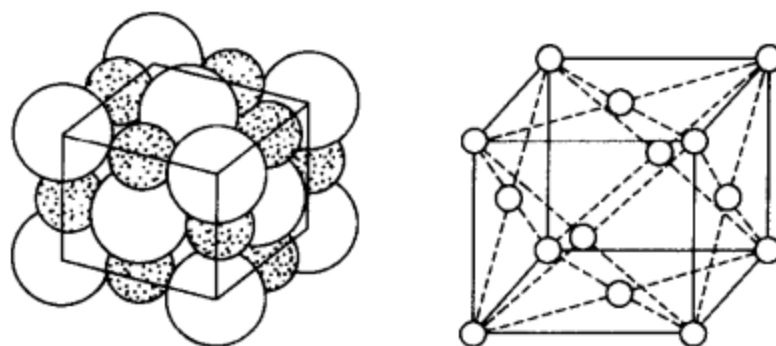


24. (5 分) 答：该图是一个陶瓷三元相图的液相面等温投影图，其中有两个四相平衡平面，温度大约在 2300℃，一个是共晶型，另一个是包共晶型。

试题六解析

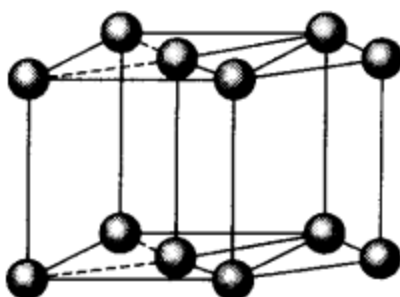
注意：选做 19 题，第 21 题 10 分，其余每题 5 分，其中带 * 的为必做题目。

1.* (5 分)

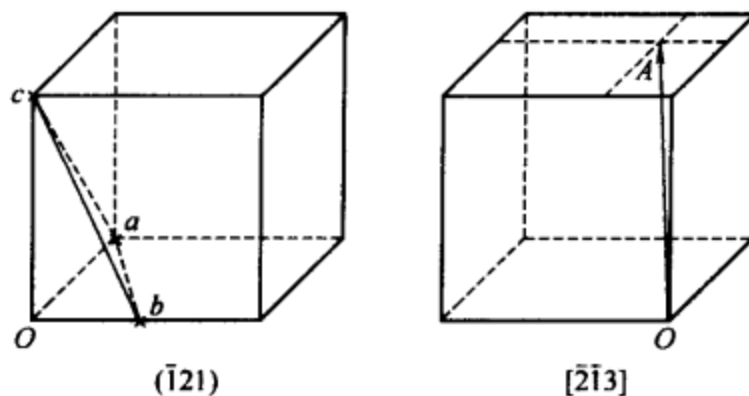


2. (5 分) 答: L_4^4 代表晶体的四次旋转-反演轴。

3.* (5 分)

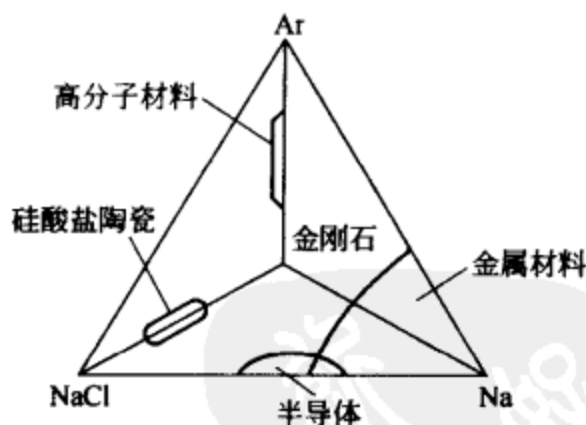


4.* (5 分)



5. (5 分) 答: $h = v_1 w_2 - v_2 w_1$; $k = w_1 u_2 - w_2 u_1$; $l = u_1 v_2 - u_2 v_1$ 。

6. (5 分)



7.* (5 分) 答: 4 个原子; 八面体间隙 (6 个); 四面体间隙 (12 个)。致密度为 0.68; 配位数为 8。

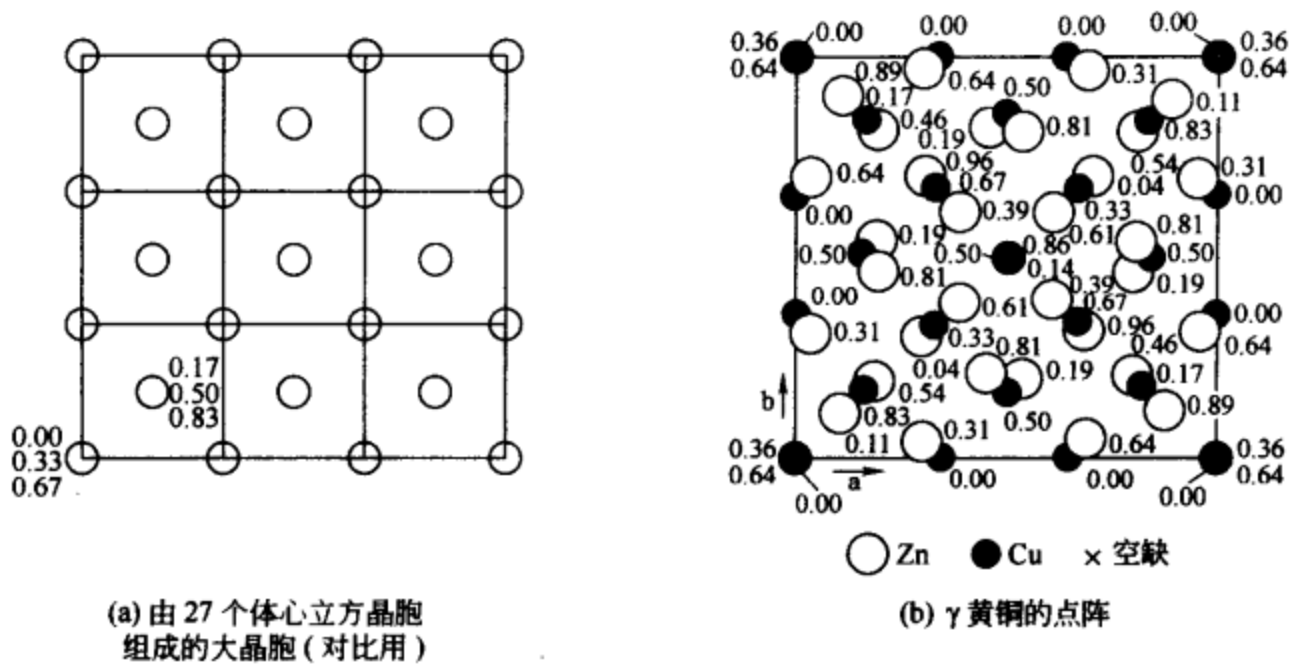
8. (5 分) 答: 当原子半径较小的非金属元素作为溶质溶入金属或化合物的溶剂中时, 小的溶质原子不占有溶剂晶格的结点位置, 而存在于间隙位置, 形成间隙固溶体。

形成间隙固溶体的条件: ①溶剂 大多是过渡族元素; 溶质 一般是原子半径小于 0.1nm 的一些非金属元素, 即氢 0.046、氧 0.061、氮 0.071、碳 0.077、硼 0.097 等; ②保证 $\Delta R > 41\%$; ③电负性差不大。

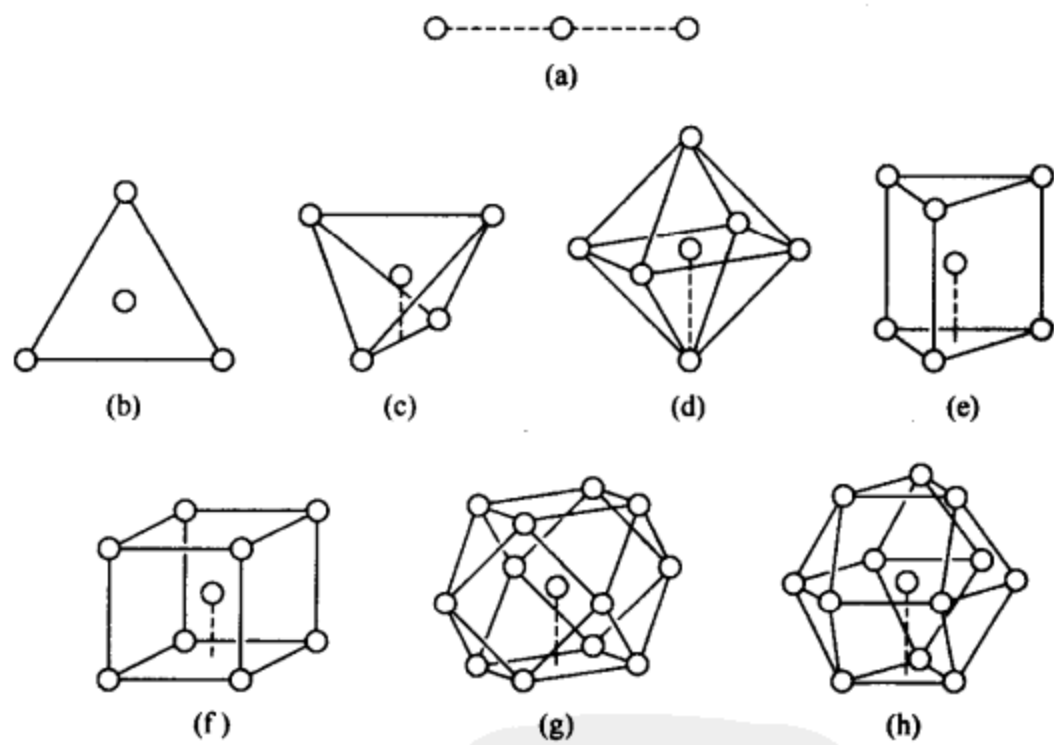
9. (5 分) 答: $\Delta R = 30\% \sim 41\%$; 电负性较大; 间隙化合物具有复杂的晶体结构, 常

见类型如下：① M_3C 型： Fe_3C 、 Mn_3C ；② M_7C_3 型： Cr_7C_3 ；③ $M_{23}C_6$ 型： $Cr_{23}C_6$ ；④ M_6C 型： Fe_3W_3C 、 Fe_4W_2C 。式中，M 可表示一种元素，也可以表示有几种金属元素固溶在内。

10. (5 分) 答：下图可说明 γ 黄铜型电子化合物结构特点。



11.* (5 分) 答：离子晶体结构中，与某一个正离子成配位关系而邻接的各个负离子中心连线所构成的多面体。



12. (5 分) 答：在刚玉结构中，氧离子的排列为 HCP 结构，其中八面体间隙位置的 $2/3$ 被铝离子所占据，将这些铝阳离子用 Fe、Ti 两种阳离子置换，形成 Fe 层与 Ti 层交互排列构成钛铁矿结构。

13. (5 分) 答：从热力学考虑， ΔT 越大， r^* 及 ΔG^* 越小，因而需要的能量起伏小，满足 $r \geq r^*$ 的晶胚数越多，稳定晶核容易形成，则形核率越高；从动力学考虑，晶核形成需要原子从液相转移到临界晶核上才能成为稳定晶核， ΔT 越大，原子活动能力越小，原子从液相转移到临界晶核上的概率减小，不利于稳定晶核形成，则形核率越低，因此不能这么说。

14.* (5 分) 答：键的内旋使大分子链的空间形状每时每刻都在变化着，时而蜷曲时而伸展，由于内旋转的缘故，大分子链总是要蜷曲成无规则线团状，不同的大分子链的内旋转

能力差别很大，故各种分子链的蜷曲倾向差别也很大。用柔性来表征大分子链的蜷曲特性，大分子链内旋转阻力小的称为柔性链，内旋转阻力大的称之为刚性链。

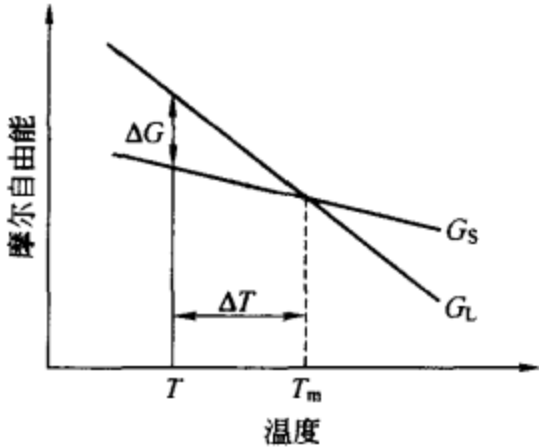
主链结构和侧基性质。

15. (5分) 答：高分子化合物的相对分子质量一般大于 1000，有的甚至达到几十万、几百万，它是由成千上万个原子以共价键相连接的大分子化合物。评定一种物质是不是高分子化合物，并不单要求其分子量很大，更重要的是看其性能是否发生质变，是否具有一定的强度和弹性。即只有在物理、机械等性能具有与低分子化合物有较大差异时，才能称为高分子化合物，方可作为高分子材料在工程上应用。

高聚物是各种长度不同、分子量不同、化学组成相同的同系高分子混合物，即高分子化合物总是由不同大小的分子组成。

M_w 增大，高聚物机械强度提高，但分子量太大又会使其熔融黏度增大，流动性差，给加工成型带来困难。特别是用于涂料的高聚物，其分子量过大将给施工带来不便，更要进行严格的控制。在 M_w 基本相同的情况下， M 分布宽，高聚物的熔融温度范围宽，有利于加工成型； M 分布窄，其制品往往具有某些方面较好的性能，如抗开裂性较好等。 M_w 大小及 M 分布情况要由制备高聚物的反应条件和反应机理来决定。

16.* (5分) 答： $\Delta G = \Delta H - T\Delta S = -L_m - T(-L_m)/T_m = L_m(T - T_m)/T_m = L_m\Delta T/T_m$

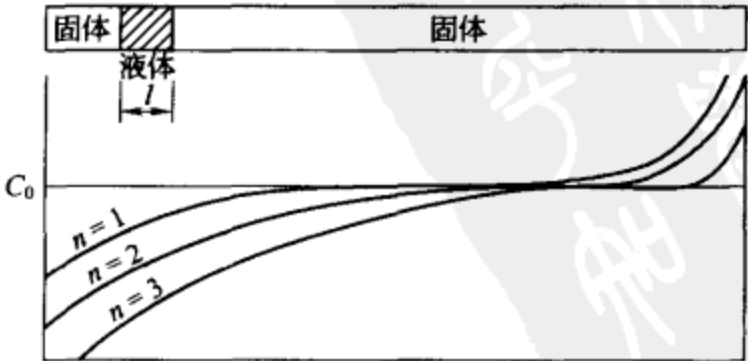


靠近熔点处液相与固相之间的自由能差，忽略了 G_s 和 G_L 线的曲率

17.* (5分) 答：叶蜡石 $Al_2[Si_4O_{10}](OH)_2$ 用 3 个 Mg^{2+} 代替 2 个 Al^{3+} 得到滑石 $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$ 。它属单斜晶系，由两层相对的硅氧层通过一层镁氢氧中间层连接而组成复网层。它与叶蜡石不同，层间容易解理，即有良好的片状解理，有滑腻感，塑性、悬浮性差。

18.* (5分) 答：根据相律 $F = C - P + 1$ 得，当 $C = 3$ ， $P = 4$ 时， $F = 0$ 。所以温度恒定不变。

19.* (5分) 答：区域熔炼是应用固溶体凝固原理来提纯材料的一种工艺，其原理如下图所示：

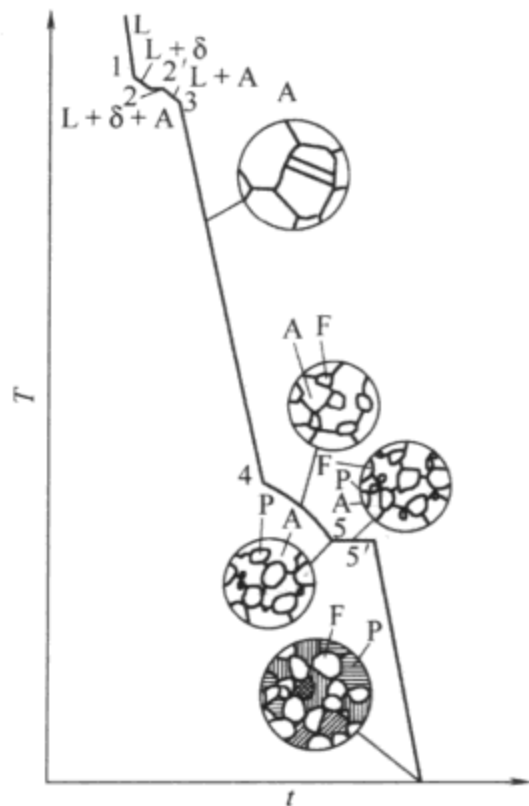


多次通过 ($n > 1$) 提纯示意图

20. (5 分) 答：共晶合金的凝固也是形核和核的长大过程。共晶体中两个组成相不会同时形核，首先形核的一相称为先析出相；一个共晶晶核只包含一个 α 晶核和一个 β 晶核，最后就形成了一个由相互平行的 α 相和 β 相层片相间的共晶领域或称共晶晶团；在共晶合金凝固过程中可以同时形成许多共晶晶核，每个共晶晶核各自长大成一个共晶领域，直至各个共晶领域彼此相碰、液相全部消失为止。共晶合金凝固过程是形核→相界平衡→短程扩散破坏平衡→长大→相界平衡。此过程在恒温下重复进行，直至熔液全部转变为由不同共晶领域组成的共晶组织为止。

常见缺陷：缩孔、偏析、气孔和夹杂。

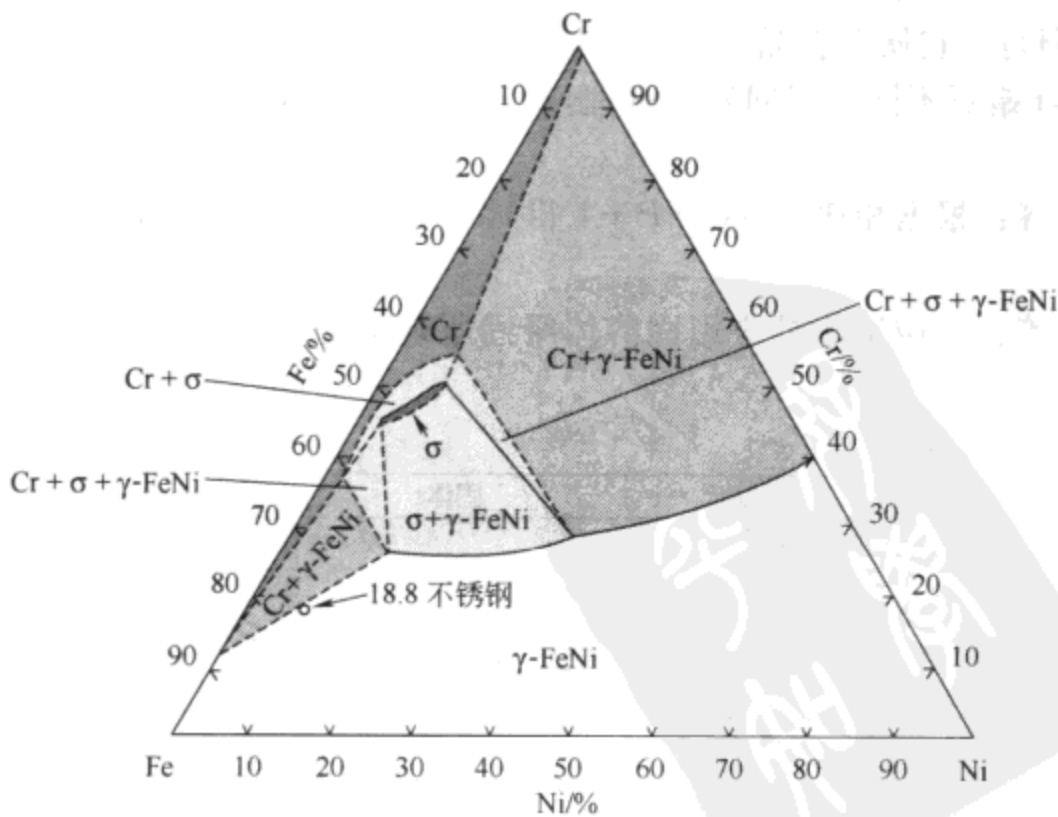
21.* (10 分)



$$F\% = (0.77 - 0.6) / (0.77 - 0.0218) = 22.7\%; \quad P\% = 77.3\%.$$

22.* (5 分) 答： $L + \alpha \rightarrow \beta + \gamma$ ；上面 2 个，下面 2 个。

23. (5 分)



不锈钢的三元相图

试题七解析

一、名词解释 (20 分, 每小题 4 分)

1. 晶胞: 根据晶体点阵的周期重复性, 在晶体中选取一个具有代表性的基本单元体, 一般为平行六面体, 而整个晶体点阵可看作由基本单元体堆垛而成, 这个基本单元体称为晶胞。在晶体学中, 通常按布拉菲晶胞选取准则选择晶胞。

2. 能量起伏: 系统中由于原子热运动使每个微小区域内的能量偏离系统平均能量而此起彼伏的现象。

3. 动态过冷: 晶体生长时, 在液固相界面处的液体同样需要过冷, 以保证具有足够大的生长驱动力, 这种过冷称为动态过冷, 也称界面过冷, 其过冷程度用动态过冷度表示, 即界面处液体的理论结晶温度与界面实际温度之差。

4. 组织组成物: 组织组成物是具有特定组织形态的某一相变的产物, 它可是单相, 也可由多相组成。

5. 扩散激活能: 原子在晶体结构中由一个平衡位置跳向相邻的另一个平衡位置时, 通常要越过一个自由能垒, 该能垒高度称为扩散激活自由能, 它是原子扩散的阻力。扩散激活自由能的内能部分简称为扩散激活能。

二、填空 (30 分, 每空 1 分)

1. 8; 0.68; 0.5; {110}; 八; 铁素体; 12; 0.74; 0.5; {111}; 八; 奥氏体。

2. 越大; 越小; 越小; 越大; 越小; 越大。

3. 粗糙; 光滑; 粗糙; 垂直生长; 快; 光滑; 台阶生长; 慢。

4. 化学位梯度; 扩散激活能; 空位扩散; 间隙扩散。

三、分析下列问题 (15 分, 每小题 7.5 分)

1. 答: 合金铸锭的典型组织由表面向心部分别为表层细晶区、柱状晶区和中心等轴粗晶区三个晶区构成。

表层细晶区的形成有两方面原因。当温度较高的合金液体浇入铸型并与铸型内壁接触时, 液体产生激冷, 过冷度的急剧增加使形核率显著提高; 铸型内壁对合金液体起到了非均匀形核的基底作用, 由于形核功减小, 也使形核率增加, 从而使表层细晶区的晶粒非常细小。

柱状晶区的形成原因是, 当表层细晶区形成时, 产生大量的结晶潜热, 导致与细晶区接触的液体温度迅速回升, 液体过冷度迅速减小, 当过冷度减小至很难再形成新的晶核时, 合金只有靠原有的晶粒继续长大。但是, 这些长大晶粒的取向各不相同, 每个晶粒向外散热的速度也就不同, 那些结晶主轴垂直于铸壁的晶粒散热速度最快, 得以优先生长, 而其他取向晶粒的生长则受到抑制难以长大, 最后形成柱状晶区。液固相界面前沿液体中的温度梯度越陡, 则成分过冷区越窄, 越有利于柱状晶区的形成。

中心等轴粗晶区的形成原因是, 随着中心剩余液体的温度不断降低, 液体过冷度不断增大, 当达到形核所需要的临界过冷度时, 液体便通过均匀形核方式形成了中心等轴粗晶区。同时, 由于各种原因, 在剩余液体中形成的尺寸不同的籽晶, 促进了非均匀形核过程, 也是形成中心粗晶区的重要原因。

2. 答: 晶内偏析为显微偏析的一种, 它是在固溶体合金凝固速度较快时, 由于原子扩散不充分, 使晶粒的开始形成部分和最后形成部分的化学成分不一致, 从而在一个晶粒内部出现了成分不均匀的现象。根据选择结晶原理, 对于 $k_0 < 1$ 合金, 晶粒中心的溶质浓度较

小，晶粒外围溶质浓度较高，从中心到外围溶质原子浓度逐渐增加；对于 $k_0 > 1$ 合金，溶质原子的浓度分布刚好相反。晶内偏析与合金的冷却速度有关，冷却速度越快，原子扩散越难，晶内偏析越严重。但是，若将合金以很快的速度冷却，直接过冷到固相线以下，反而不会产生晶内偏析，结晶出成分均匀的固溶体。

正常偏析为宏观偏析的一种，它是由于合金在不平衡结晶时，液固相界面前沿液体中的原子混合不充分，在相界面前沿产生了原子的再分布，形成了原子富集峰。合金凝固速度越快，液体原子混合越差，原子富集峰则越高，凝固以后在整个合金的范围内出现了成分不均匀的现象。对于 $k_0 < 1$ 合金，在生长过程中不断向液体中排出溶质原子，相界面前沿的溶质原子浓度逐渐增加，富集峰越来越高，使开始凝固部分的溶质原子浓度较小，后凝固部分的溶质原子浓度较高；对于 $k_0 > 1$ 合金，浓度分布刚好相反。由于溶质原子浓度随合金试棒长度方向的分布符合正常凝固方程，因此将这种偏析称为正常偏析。冷却速度对正常偏析的影响与晶内偏析截然不同，冷却速度越快，液体原子混合越差，形成的原子富集峰越高。由于两相在相界面处的局部平衡，使界面固相浓度也升高，凝固以后的合金浓度偏离原始合金浓度的程度反而越小，正常偏析减小。

四、(10 分) 答：纯金属凝固时，液固相界面前沿的液体过冷区由金属的理论结晶温度与实际温度分布曲线围成。由于理论结晶温度为定值，因此过冷区的形状仅由实际温度分布所决定。在液体处于正温度梯度条件下，纯金属过冷区的特点是，相界面处液体的过冷度最大，远离界面向液体深处过冷度逐渐减小。根据晶体生长速率与过冷度的关系可知，如果在界面处出现一个微小突起，则突起尖部过冷度较小，并且越往里生长过冷度越小，结果使突起的生长速度逐渐变缓。在这种情况下，平面状界面较为稳定，金属将以平面状生长，最后形成平面晶。

固溶体合金凝固时，在液固相界面前沿的液体过冷区也由理论结晶温度与实际温度分布曲线围成，但是合金的理论结晶温度是一个与液体成分有关的变量，由此产生的成分过冷区形状不仅与实际温度分布有关，也与理论结晶温度的变化有关。在液体处于正温度梯度条件下，相界面前沿的成分过冷区呈现月牙形，其大小与很多因素有关。此时，成分过冷区的特性与纯金属在负温度梯度下的热过冷区非常相似，即相界面处的过冷度最小，远离界面过冷度开始增加，在这种情况下，平界面会因成分过冷的增加而变得不稳定。可以按液固相界面前沿成分过冷区的大小分为三种情况讨论。

(1) 当无成分过冷区或成分过冷区较小时，界面不可能出现较大的突起，此时平界面是稳定的，合金以平面状生长，形成平面晶。

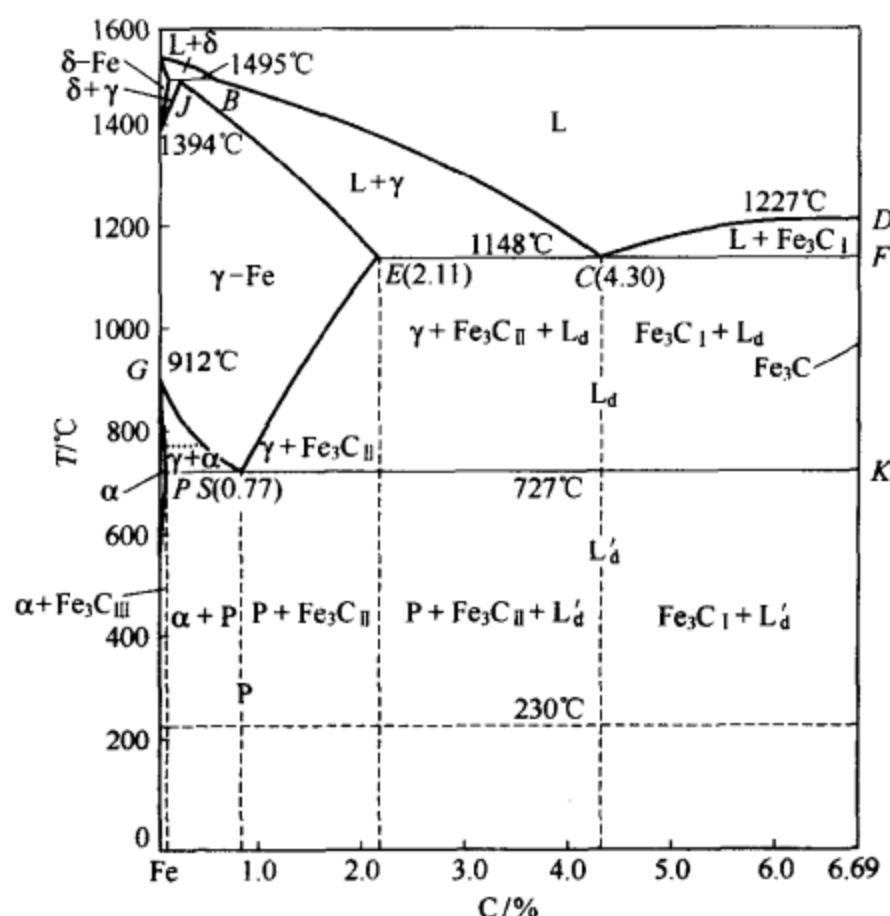
(2) 当成分过冷区稍大时，这时界面上突起的尖部将获得一定的过冷度，从而促进了突起进一步向液体深处生长，考虑到界面的力学平衡关系，平界面变得不稳定，合金以胞状生长，形成胞状晶或称胞状组织。

(3) 当成分过冷区较大时，平界面变得更加不稳定，界面上的突起将以较快速度向液体深处生长，形成一次轴，同时在一次轴的侧向形成二次轴，以此类推，因此合金以树枝状生长，最终形成树枝晶。

除了以上三种液固相界面形貌外，固溶体还有平面胞状和胞状树枝界面形貌等过渡形式。

五、答：1. (12.5 分) 铁碳合金相图如下。

铁碳合金中主要存在五种类型的渗碳体，包括一次渗碳体、二次（先共析）渗碳体、三次渗碳体、共晶渗碳体和共析渗碳体，它们的晶体结构虽然相同，但形成条件和组织形貌不同。



$\text{Fe}_3\text{C}_\text{I}$ ：成分在 4.3%~6.69% C 的合金冷却到液相线 CD 以下，由液体结晶出的渗碳体，呈现很长的板条状。

$\text{Fe}_3\text{C}_\text{II}$ ：成分在 0.77%~6.69% C 的合金冷却到 727~1148°C 时，由过饱和奥氏体析出的渗碳体。对过共析钢，二次渗碳体沿原奥氏体晶界析出，当钢的含碳量较高时，形成网状渗碳体；对白口铁，在树枝状奥氏体基体上析出，形成颗粒状渗碳体。

$\text{Fe}_3\text{C}_\text{III}$ ：成分在 0~6.69% C 的合金冷却到共析温度以下时，由过饱和铁素体析出的渗碳体，一般沿原奥氏体晶界呈小片状析出，由于量很少，只有在工业纯铁中才清晰可见。

共晶 Fe_3C ：成分为 2.11%~6.69% C 的合金冷却到共晶温度时转变的莱氏体的组成部分，作为莱氏体组织的基底。

共析 Fe_3C ：成分为 0.0218%~6.69% C 的合金冷却到共析温度时转变的珠光体的组成部分，在层片状珠光体中，呈片状；在球状珠光体中，呈球状或粒状弥散分布。

2. (12.5 分) T12 为过共析钢。将钢熔化后缓慢冷却，当与液相线相交时，发生匀晶转变，从液相中结晶出初晶奥氏体。随着温度降低，液相和奥氏体分别沿着 BC 和 JE 线变化，当合金达到 JE 线时液相结晶完了，全部转变为奥氏体。继续降低温度，合金进入奥氏体单相区，组织没有变化。当合金冷却到 ES 线时，奥氏体达到过饱和，将析出二次渗碳体，随着温度降低，奥氏体成分沿着 ES 线变化，当降温到 PSK 线时，奥氏体成分达到共析点 S，在恒温下发生珠光体转变，形成珠光体组织。继续降低温度，在共析温度以下由铁素体析出微量的三次渗碳体略去不计。合金的室温组织为 $\text{P} + \text{Fe}_3\text{C}_\text{II}$ 。合金在室温下组织组成物的相对量计算如下：

$$\text{P}\% = \frac{6.69 - 1.2}{6.69 - 0.77} = 92.7\%$$

$$\text{Fe}_3\text{C}_\text{II}\% = \frac{1.2 - 0.77}{6.69 - 0.77} = 7.3\%$$

T12 钢平衡组织示意图略。

试题八解析

一、名词解释 (18 分, 每小题 3 分)

1. 空间点阵: 将晶体中的物质质点抽象为具有相同环境的等同点, 由等同点排列而成的能概括表明各类等同点在晶体结构空间中排列规律的三维图形。布拉菲空间点阵只有 14 种。

2. 原子配位数: 晶体中与任一原子最近邻并且等距离的原子数, 它表示晶体中原子的密堆程度以及原子的化学键数。

3. 晶体缺陷: 晶体中原子排列的不完整区域, 按几何特征分为点、线、面、体晶体缺陷。

4. 临界晶核: 具有临界尺寸的晶核, 其晶核的形成成功最大, 长大和熔化的概率相同。

5. 超点阵: 某些具有特定原子比的合金, 在高温时是无序固溶体, 当将其缓冷至某一临界温度以下时, 转变为长程有序的固溶体, 也称为有序固溶体。

6. 离异共晶: 成分远离共晶点的亚共晶或过共晶合金在结晶时, 若初晶数量较多而共晶数量较少, 组成共晶的两相有时会发生分离, 其中与初晶相同的相往往依附于初晶上生长, 而另一相沿初晶的边界处分布, 将这种两相分离的共晶组织称为离异共晶。

二、单选题 (10 分, 每小题 1 分)

1. b 2. c 3. c 4. c 5. b 6. c 7. a 8. a 9. b 10. a

三、填空 (23 分, 每空 0.5 分)

1. 6; $a/2$; 12; 0.74; 6; 12; $\{0001\}$ 。

2. 已滑移; 未滑移; 垂直; 平行; 垂直; 平行。

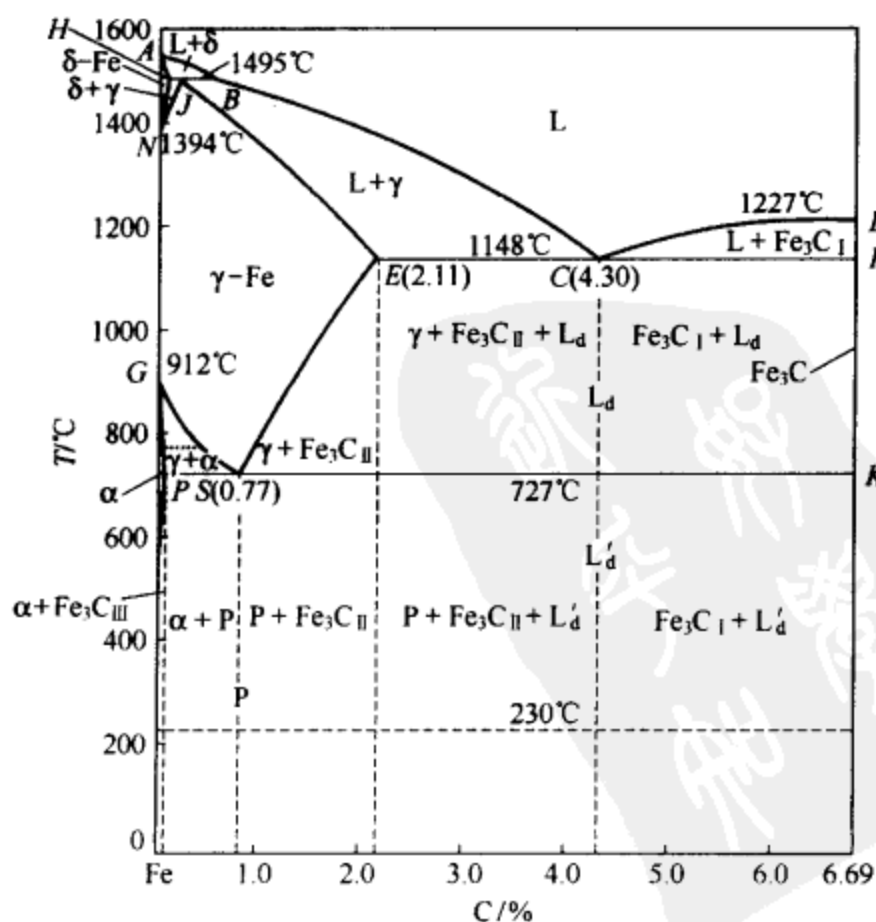
3. $<10^\circ$; 倾侧晶界; 扭转晶界; 刃型; 螺型; 低; $>10^\circ$; 高。

4. 有序; 无序; 过冷; 形核; 长大; 恒温; 能量; 结构; 1; 变温; 成分; 粗糙; 光滑; 垂直生长; 台阶生长。

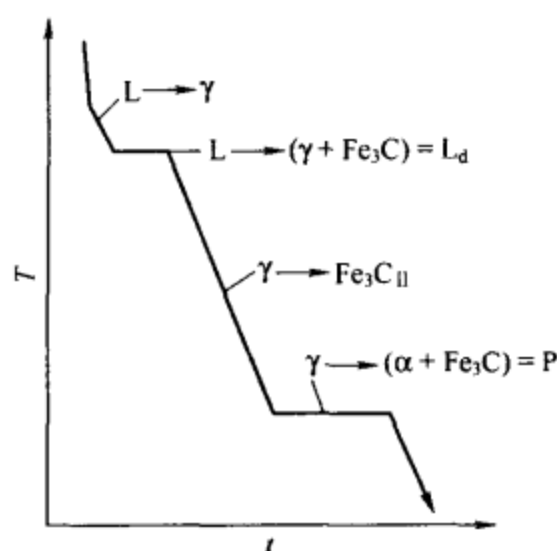
5. 金属; 非金属; 较大; 小于; 简单; 不同; 大; 硬度; 熔点; 强化。

四、相图应用题 (22 分)

1. (7 分) 答: Fe-Fe₃C 平衡相图如下。



2. (9分) 答: 合金为亚共晶白口铁。将合金加热至液相线以上某一温度熔化后缓慢降温, 当冷却到液相线以下进入 $L+\gamma$ 两相区时, 发生匀晶转变, 转变产物为初晶奥氏体, $L \rightarrow \gamma$ 。继续降低温度, 液相和奥氏体的成分分别沿 BC 、 JE 线变化, 当合金降至共晶温度时, 两相成分分别到达 C 、 E 两点, 到达共晶点 C 的液相发生共晶转变, 生成莱氏体, $L \rightarrow (\gamma + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}) = L_d$ 。接下来合金进入 $\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$ 两相区, 奥氏体成分沿 ES 线变化, 由于奥氏体过饱和析出二次渗碳体, $\gamma \rightarrow \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$, 此时合金组织为 $\gamma + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}} + (\gamma + \text{Fe}_3\text{C} + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}})$ 。当合金降至共析温度时, 奥氏体成分到达共析点 S , 发生珠光体转变, $\gamma \rightarrow (\alpha + \text{Fe}_3\text{C}) = P$ 。珠光体转变完成后, 合金进入 $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ 两相区, 从 α 中析出 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{III}}$, 由于量很少, 可以忽略不计。在结晶过程中, 由初晶奥氏体析出的二次渗碳体在光学显微镜下可以识别, 而由莱氏体中的共晶奥氏体析出的二次渗碳体作为莱氏体的组成部分, 因此在珠光体转变结束后, 莱氏体变成了变态莱氏体, 即 $P + \text{Fe}_3\text{C} + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}} = L'_d$ 。合金的室温组织为 $P + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}} + L'_d$, 合金的冷却曲线如图所示。



3. (6分) 答: 合金平衡结晶后的室温组织组成物和相组成物分别为 $P + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}} + L'_d$ 及 $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$, 它们的相对含量可由杠杆定理计算。组织组成物是相变的产物, 它的计算需分析合金的结晶过程, 找出组织刚形成时的成分点即是杠杆定理的支点。从上述分析可知, 组织中的莱氏体量就是成分到达 C 点的液相量

$$L'_d\% = L\% = \frac{3.3 - 2.11}{4.3 - 2.11} = 54.34\%$$

二次渗碳体 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$ 是从成分为 E 点的初晶奥氏体中析出的, 当温度降到共析温度时, 析出量达到最大值, 此时初晶奥氏体成分到达 S , 二次渗碳体量为

$$\text{Fe}_3\text{C}\% = \frac{2.11 - 0.77}{6.69 - 0.77} \times \frac{4.3 - 3.3}{4.3 - 2.11} = 10.33\%$$

当初晶奥氏体成分到达 S 点时, 随后发生共析转变生成珠光体, 因此

$$P\% = \frac{6.69 - 2.11}{6.69 - 0.77} \times \frac{4.3 - 3.3}{4.3 - 2.11} = 35.33\%$$

珠光体量也可由 $P\% = 1 - 54.34\% - 10.33\% = 35.33\%$ 得到。

合金的相组织物计算如下

$$\alpha\% = \frac{6.69 - 3.3}{6.69 - 0} = 50.67\%$$

$$\text{Fe}_3\text{C}\% = \frac{3.3 - 0}{6.69 - 0} = 49.33\%$$

五、(9分) 1. 答: 对于液态金属的结晶, 非均匀形核比均匀形核容易主要是由于基底可以降低形核功, 提高形核率。由非均匀形核的形核功表达式

$$\Delta G'_c = \Delta G_c \left(\frac{2 - 3\cos\theta + \cos^3\theta}{4} \right)$$

可以看出, 晶核与基底间的接触角 θ 对形核功有较大影响。当 $\theta = \pi$ 时, $\Delta G'_c = \Delta G_c$, 晶核与基底间完全不润湿, 基底对形核无促进作用, 本质上仍属于均匀形核; 一般情况下, $0 \leq \theta < \pi$, 从而 $\Delta G'_c < \Delta G_c$, 并且 θ 越小, 晶核与基底的润湿程度越好, 形核功越小, 临界过冷度越小, 因此非均匀形核越容易。

晶核与基底间的界面能是影响接触角的重要因素，该界面能越小，接触角就越小。一般来说，界面能取决于晶核与基底的结构相似性，特别是界面结构相似性，二者结构越相似，界面能越低，接触角越小，这个关系通常称为点阵匹配原理。在实际结晶过程中，情况较为复杂，除考虑点阵匹配原理外，还要通过实验确定基底对晶核的润湿程度。

基于上述分析，液态金属结晶时细化晶粒的主要方法有：

(1) 增加过冷度 金属结晶时，通过加大冷却速度可以增大过冷度 ΔT ，虽然形核驱动力和长大驱动力都随过冷度增加，但当过冷度大于一定值后，形核率 \dot{N} 的增加将大于长大速度 \dot{G} 的增加，使比值 \dot{N}/\dot{G} 提高，结晶后得到细小晶粒组织。

(2) 孕育处理 浇注前，在金属熔体中加入细小的能促进形核的固态颗粒，称为形核剂，也称孕育剂或变质剂，发生不均匀形核，可以显著地提高形核率，这些形核剂颗粒又能阻碍晶粒长大，结果在凝固后晶粒组织非常细小，这是生产中经常采用的方法。

(3) 振动作用 在金属结晶过程中，对结晶系统进行振动，例如机械、电磁、超声振动等，也可以起到细化晶粒作用，这是由于振动能的输入，提高了形核率；同时通过振动可以部分破碎较小的枝晶，在液体中形成大量籽晶，也提高了形核率。

2. (9分) 答：影响置换固溶体溶解度的主要因素有：

(1) 原子尺寸因素 以 A-B 二元固溶体为例，若两组元原子半径的相对差 Δr 越大，溶质原子在溶剂晶格中产生的点阵畸变越大，由于固溶体能量升高，从而限制了溶质原子的进一步溶入，因此固溶体的溶解度降低。只有原子半径差别较小的组元才能形成溶解度较高的固溶体，甚至是无限固溶体。

(2) 电化学因素 也称电负性因素。两组元的电负性差别越大，原子间的亲和力越大，形成化合物的倾向越大。反之，若形成固溶体，则溶解度就越小。

(3) 电子浓度因素 也称原子价因素，这是早期在一价贵金属为基的固溶体发现的。实验结果表明，在原子尺寸有利的条件下，溶质原子的原子价越低，则形成的固溶体溶解度越高，这一规律可以根据合金电子浓度解释如下，其定义为

$$c = \frac{e}{a} = \frac{A(100-x) + Bx}{100}$$

式中，A、B 分别为两组元的原子价； x 为溶质原子的原子分数。对应于固溶体的极限溶解度，也存在极限电子浓度，该值仅取决于溶剂结构。根据上式，溶质原子价越低，而极限电子浓度为定值，必然使固溶体的溶解度升高。

(4) 晶体结构因素 组成固溶体两组元的晶体结构越相近，形成固溶体时产生的点阵畸变就越小，其溶解度就越高。因此，晶体结构相同是形成无限固溶体的必要条件。

3. (9分) 答：将退火低碳钢进行少量塑性变形后卸载，然后立即加载，屈服现象不再出现。如果卸载后在室温下放置较长时间或加热到一定温度保温，屈服现象再次出现，而且低碳钢的强度及硬度升高，这种现象称为应变时效或机械时效。

应变时效的产生是由于低碳钢中位错与碳原子之间的弹性交互作用所致。在平衡状态下，位错与碳原子交互作用的结果使碳原子逐渐聚集在位错附近，形成能量更低的溶质原子气团。当对低碳钢进行少量塑性变形时，位错在应力作用下挣脱碳原子“钉扎”开始运动，产生上屈服点；位错一旦挣脱碳原子“钉扎”则处于较为自由的状态，在较小的应力下便可以运动，产生下屈服点，从而引起屈服现象。但是，卸载后立即加载，脱离位错的碳原子还来不及扩散到位错周围形成气团，因此不会产生屈服现象。若卸载后将低碳钢在室温下放置较长时间，或加热到一定温度保温，碳原子则又扩散到位错附近重新形成气团，屈服现象再次出现，并使强度和硬度升高，这就是应变时效产生的原因。

试题九解析

一、名词解释 (15 分, 每小题 3 分)

1. 非均匀形核: 新相是在母相中的缺陷处形核, 由于缺陷在母相中的分布是不均匀的, 因此晶核的分布也是不均匀的。金属结晶时, 晶核主要是在液体中杂质的表面、铸型内壁等处形成。

2. 伪共晶: 在不平衡结晶条件下, 非共晶成分的合金在冷却速度足够快时, 将直接过冷到相图的共晶线以下的伪共晶区中, 从而全部转变为共晶组织, 这种共晶称为伪共晶。

3. 杠杆定理: 在合金相图的两相区中, 平衡两相的成分点与合金的成分点位于一条直线上, 前者为杠杆的端点, 后者为杠杆的支点, 平衡两相的相对量与支点到相应相端点的线段成反比。

4. 结构起伏: 液态金属中近程有序原子集团 (也称类晶体) 此起彼伏、时聚时散的现象称为结构起伏, 也称为相起伏。

5. 比重偏析: 合金凝固时, 由于先后结晶的组成物在密度上的差别, 轻的上浮, 重的下沉, 形成了宏观化学成分不均匀的现象, 称为比重偏析。

二、填空 (11 分, 每空 0.5 分)

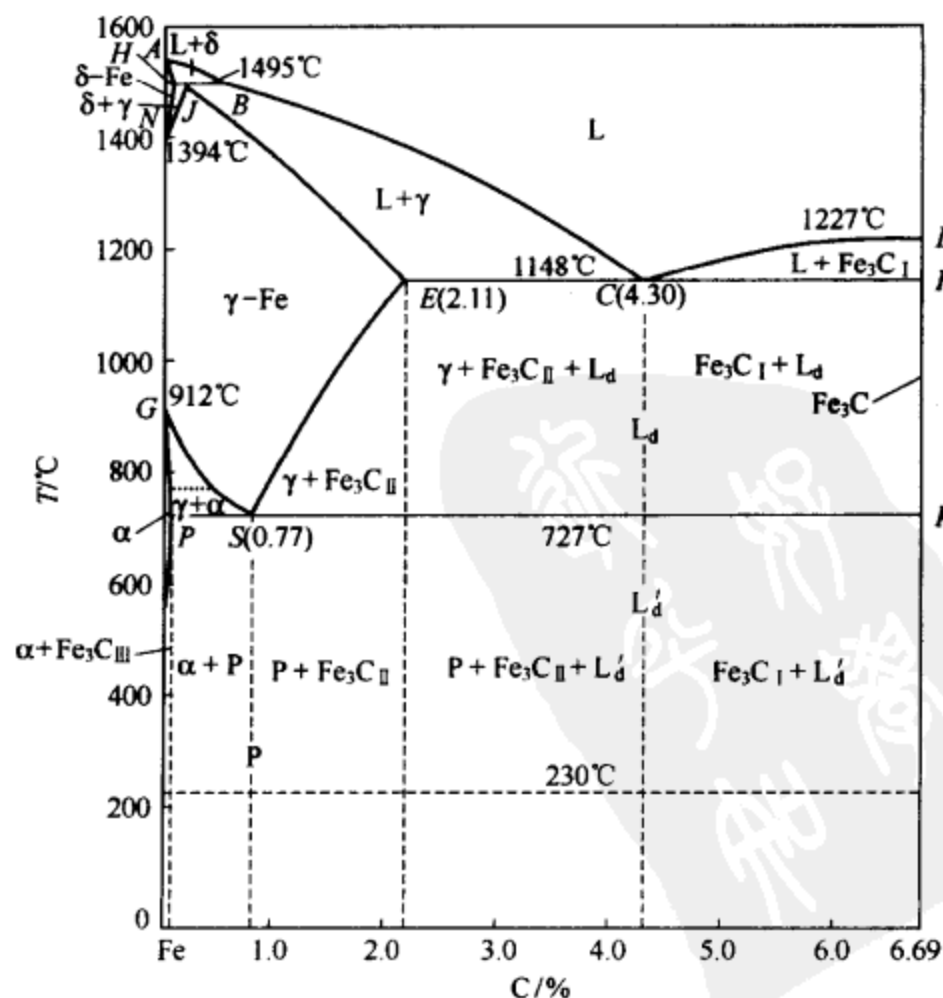
1. 滑移面; 在滑移面上的滑移方向; 不变; 临界分切应力; 软取向; 开动; 整数倍; 孪生面; 孪生方向; 分数倍; 较小; 较大; 位向; 滑移。

2. 内应力; 电阻; 储存能; 凸出形核; 亚晶合并形核; 亚晶界迁移形核; 强度、硬度; 塑性、韧性。

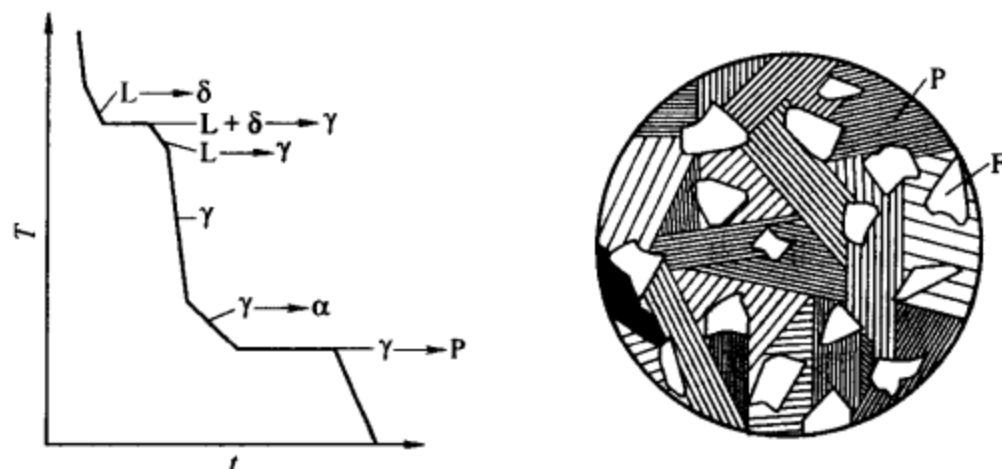
三、判断题 (正确打“√”, 错误打“×”, 8 分, 每小题 1 分)

1. √ 2. √ 3. × 4. × 5. √ 6. √ 7. √ 8. √

四、1. (1) (7 分) 答: Fe-Fe₃C 合金相图如下。



(2) (7分) 答: 该合金为亚共析钢。将合金加热到液相线以上熔化, 然后缓慢降温, 当合金与液相线相交时, 开始从液相中结晶出高温铁素体, $L \rightarrow \delta$ 。温度继续降低, 两相分别沿固、液相线变化, 当冷却到胞晶转变温度 HJB 线时, δ 和 L 分别到达 H 和 B 点, 发生胞晶反应生成包晶组织, 即奥氏体, $L + \delta \rightarrow \gamma$ 。胞晶反应结束后, 高温铁素体消失, 但液相还有剩余, 接下来合金进入 $L + \gamma$ 两相区, L 、 γ 的成分分别沿液、固相线变化, 并发生匀晶转变, $L \rightarrow \gamma$, 温度到达固相线时, 转变结束。继续降低温度, 合金为单相奥氏体。当合金进入 $\alpha + \gamma$ 两相区时, 发生固溶体的异晶转变, 生成先共析铁素体, $\gamma \rightarrow \alpha$, 当温度到达 PSK 线时, 奥氏体成分到达共析点 S , 在恒温下发生珠光体转变, $\gamma \rightarrow (\alpha + Fe_3C) = P$ 。合金在共析温度以下发生铁素体的脱溶, 析出三次渗碳体, $\alpha \rightarrow Fe_3C_{III}$, 由于量极少, 略去不计。合金在室温下的组织为 $\alpha + P$, 合金的冷却曲线及室温组织示意图如下。



(3) (4分) 答: 相组成物

$$\alpha\% = \frac{6.69 - 0.45}{6.69 - 0} = 93.27\%$$

$$Fe_3C\% = \frac{0.45 - 0}{6.69 - 0} = 6.73\%$$

组织组成物

$$\alpha\% = \frac{0.77 - 0.45}{0.77 - 0.0218} = 42.77\%$$

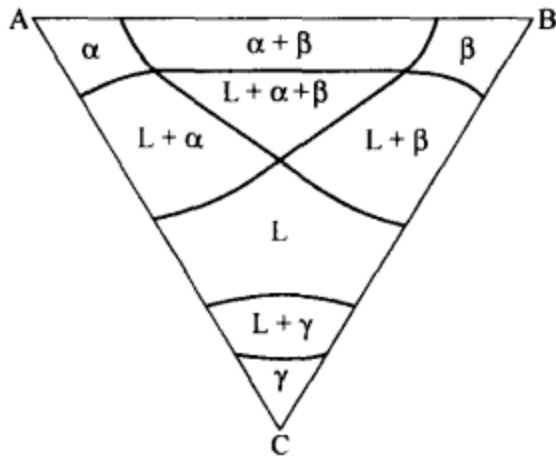
$$P\% = \frac{0.45 - 0.0218}{0.77 - 0.0218} = 57.23\%$$

2. (1) (10分) 答: k 合金成分点位于共晶三角形 abc 内, 同时也位于二元共晶转变开始面 E_3gcEE_3 内。将合金加热溶化后缓慢降温, 当冷却至与液相面 CE_2EE_3C 相交时, 发生匀晶转变, 结晶出初晶奥氏体, $L \rightarrow \gamma$ 。温度降低时, 液相和奥氏体的成分分别沿液相面和固相面变化, 当合金降至二元共晶转变开始面 E_3gcEE_3 时, 液相成分到达二元共晶转变线 E_3E , 发生二元共晶转变, $L \rightarrow \alpha + \gamma$ 。继续降低温度, 液相成分沿 E_3E 线变化, 当合金到达三元共晶转变面 abc 时, 液相成分同时到达 E 点, 发生四相平衡三元共晶转变, $L \rightarrow \alpha + \beta + \gamma$ 。再降低温度时, 合金进入共晶三角形下面的 $\alpha + \beta + \gamma$ 三相区, 发生固溶体的同析转变, $\alpha \rightarrow \beta_{II} + \gamma_{II}$, $\beta \rightarrow \alpha_{II} + \gamma_{II}$, $\gamma \rightarrow \alpha_{II} + \beta_{II}$ 。室温下合金的组织组成物为: 初晶 γ + 二元共晶 $(\alpha + \gamma)$ + 三元共晶 $(\alpha + \beta + \gamma)$ + 少量次生固溶体 $\alpha_{II} + \beta_{II}$ 。

P 合金成分点位于共晶三角形 abc 之外, 但在二元共晶转变开始面 E_2ibEE_2 之内。合金从液态缓慢降温过程中, 首先遇到液相面 BE_1EE_2B , 发生匀晶转变, $L \rightarrow \beta$, 然后遇到二元共晶转变开始面 E_2ibEE_2 , 发生二元共晶转变, $L \rightarrow \beta + \gamma$ 。接下来, 合金进入 $L + \beta + \gamma$ 三相区, 随着温度降低, 液相越来越少, 二元共晶越来越多, 当合金到达固相面 $bchib$ 时, 结晶完全。当合金进入 $\beta + \gamma$ 两相区时, 发生固溶体的脱溶, $\beta \rightarrow \gamma_{II}$, $\gamma \rightarrow \beta_{II}$ 。再降低

温度，合金进入 $\alpha + \beta + \gamma$ 三相区，发生固溶体的同析， $\beta \longrightarrow \alpha_{II} + \gamma_{II}$ ， $\gamma \longrightarrow \alpha_{II} + \beta_{II}$ 。合金的室温组织为：初晶 β + 二元共晶 $(\beta + \gamma)$ + 少量次生固溶体 $\alpha_{II} + \gamma_{II}$ 。

(2) (8分) 答：等温截面图所处的温度在 $E_1 > T > E_2$ ，因此该截面图截取到三个液相面，组元 C 一侧的固相面，组元 A 一侧和组元 B 一侧的两个溶解度曲面，以及截取到 $L + \alpha + \beta$ 三相区的共轭三角形，截面图如下。



五、(15分) 答：纯金属凝固的驱动力是自由能的降低，必要条件是有足够大的过冷度以及结构起伏和能量起伏，以克服临界晶核形成功。晶核长大时，液固相界面处还需要一定的动态过冷度。晶粒长大的形貌与液固相界面的微观结构及界面前沿液体中的温度分布有关。当界面前沿液体具有正温度梯度时，过冷度随着远离界面向液体深处逐渐减小，金属以平面状生长；当界面前沿液体为负温度梯度时，过冷度随着远离界面向液体深处逐渐增加，界面变得不稳定，金属以树枝状生长。液固相界面的微观结构也影响晶体的生长方式，从而影响金属的生长形貌。

单相固溶体合金的凝固除需要结构起伏和能量起伏外，还需要成分起伏，其生长形貌与液固相界面前沿液体的成分过冷有直接关系。由匀晶相图知，固溶体合金凝固是在一个温度范围内进行，随着温度的降低，相界面处的液、固相的成分分别沿着相图的液、固相线变化，界面前沿液体原子的混合程度随着合金生长速度的改变而不同，从而引起成分过冷区的形状及大小也不同。当成分过冷很小时，固溶体以平面状生长；成分过冷稍大时，以胞状生长；成分过冷较大时，以树枝状生长。在这三种生长形态之间，相界面还存在过渡形式。

六、(15分) 答：单相固溶体合金的强化机制主要包括加工硬化和固溶强化。加工硬化是指固溶体合金随着冷塑性变形量的增加，强度、硬度升高的现象，加工硬化是由于位错的不断增殖以及位错之间和位错与晶界之间的交互作用导致位错的滑移受阻所致。在外力作用下，当外力分解到滑移面及滑移方向上的分切应力达到临界分切应力时，固溶体中的各种位错增殖源陆续开动，增殖出大量位错，使位错密度迅速增加。由于位错密度的增加，位错之间会发生交割产生大量的割阶和扭折，割阶往往会阻碍位错的滑移。位错之间还会发生反应，生成许多固定位错，这些固定位错不仅自身难以运动，同时作为障碍也阻碍其他位错的运动。对多晶体固溶体，晶粒间的变形过程需要相互协调，变形晶粒要受到周围晶粒的制约，阻碍变形过程的进行。同时，晶界上的原子排列混乱，导致位错在晶界前沿受阻，形成位错塞积群，也使滑移变得困难。根据上述原因，使固溶体得到强化。

固溶强化是指溶质原子溶入基体形成固溶体引起的强度、硬度升高的现象，它是由于溶质原子与位错间的交互作用引起的，有弹性交互作用、化学交互作用和静电交互作用。在常温或低温下，主要为弹性交互作用，结果使溶质原子自发地聚集在位错线附近，形成溶质原子气团，包括柯氏气团和史氏气团，使其处于较低的能量状态，从而使位错被“钉扎”不易运动，引起固溶体强化。

试题十解析

一、单选题 (24 分, 每小题 2 分)

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

二、(9 分) 1. 答: 置换扩散的扩散系数与间隙扩散的扩散系数不同, 主要表现在:

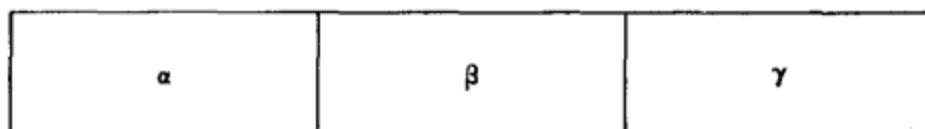
(1) 间隙扩散系数与空位浓度无关, 而置换扩散系数与空位浓度有关, 总体说来, 间隙扩散系数远大于置换扩散系数。

(2) 在间隙固溶体中, 扩散是指间隙原子的扩散, 其扩散系数与非间隙原子扩散的扩散系数无关。但在置换固溶体中, 不同组元 (原子) 间的扩散是相互影响的, 因此用互扩散系数来表示置换固溶体中的扩散系数:

$$\tilde{D} = (X_B D_A + X_A D_B)$$

如果是间隙扩散则不会发生柯肯达尔效应, 因为间隙扩散过程中只有间隙原子定向流动, 而没有点阵原子的平面迁移。

2. 答: 如下图所示。



3. 答: 不会形成两相区。这时因为若存在两相区, 那么在此区域内扩散组元在两相内的化学势必然相等, 此时其化学势梯度为零, 这样在两相区内没有扩散驱动力, 就不会发生扩散, 而事实上扩散过程是在不断进行的。

三、(10 分) 1. 答: 过冷度越大则形核功和临界半径越小。因为在均匀形核时, 形核功和临界半径分别等于:

$$\Delta G^* = \frac{16}{3} \times \frac{\pi \sigma^3}{(\Delta G_V)^2} = \frac{16 \pi \sigma^3 T_m^2}{3 (L_m \Delta T)^2}$$

$$r^* = \frac{2\sigma}{\Delta G_V} = \frac{2\sigma T_m}{L_m \Delta T}$$

由上式可见, 过冷度越小, 形核功和临界半径就越小。

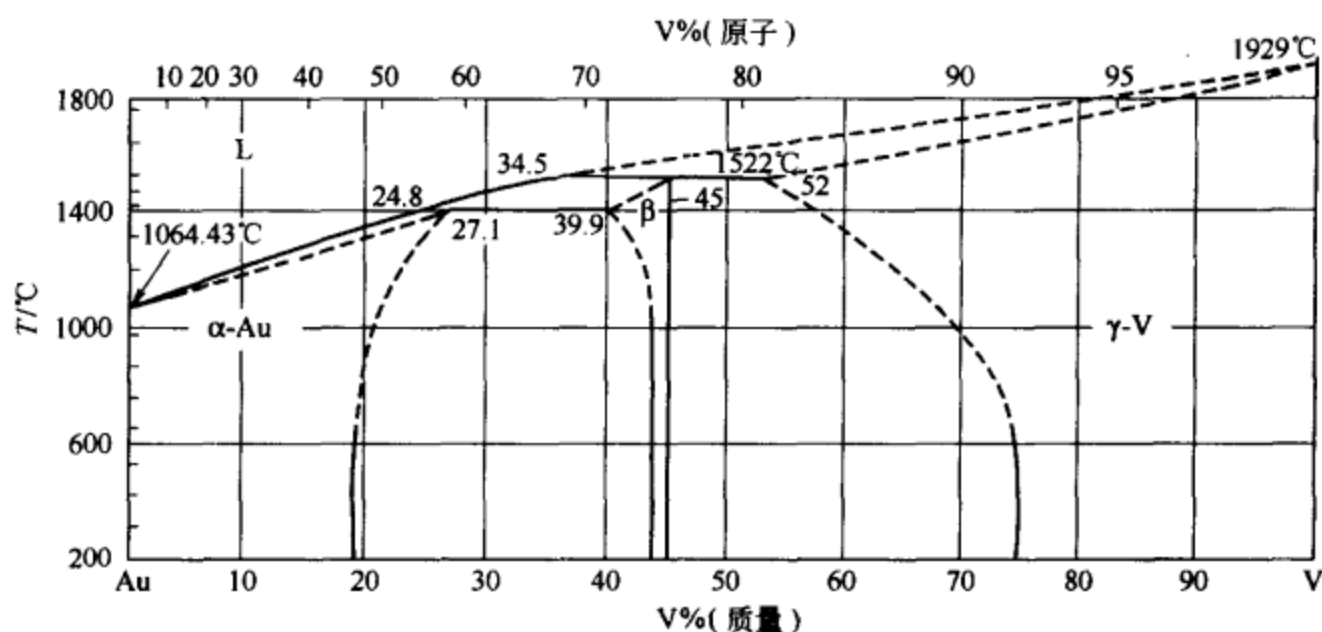
2. 答: 界面能对形核功和临界半径的影响和过冷度的影响正好相反, 从上式可见, 界面能越大, 形核功和临界半径越大。

3. 答: 若为非均匀形核, 过冷度对形核功和临界半径的影响与均匀形核相同, 因为过冷度大小决定了形核过程中体积自由能 ΔG_V 的变化, 过冷度 ΔT 越大, ΔG_V 也越大, 形核功就越小, 这点均匀形核与非均匀形核是相同的。

4. 答: 形成非晶的必要条件是冷却速度 $R > R_c$, R_c 为临界冷却速度, 它的物理意义是系统冷却时能抑制结晶过程而实现非晶化转变的最小冷却速度、临界冷却速度与 T_g/T_f 比值有关, 比值越高, 则 R_c 越小, 越容易形成非晶。此外, 还与合金成分有关, 对于特定的系统, 往往在某一成分范围内的 R_c 小, 容易形成非晶。

四、(8 分) 答: 图中 (b) 曲线表示边界层附近的温度分布, (c) 表示边界层中的浓度分布, (d) 表示边界层中的熔点随距离变化的曲线。若图 (b) 与 (d) 的曲线相交则会有成分过冷, 如图 (e) 所示。

五、(10 分)



六、(10 分) 答：1. 有初生（一次）渗碳体、二次渗碳体、三次渗碳体、共晶渗碳体和共析渗碳体五种。

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

(2) 二次渗碳体：含碳量大于 0.77%，小于 2.11% 的 Fe-C 合金在 1148°C 冷却到 727°C 过程中析出的渗碳体。

(3) 三次渗碳体：含碳量小于 0.0218% 的 α 相从 727°C 冷却时析出的渗碳体。

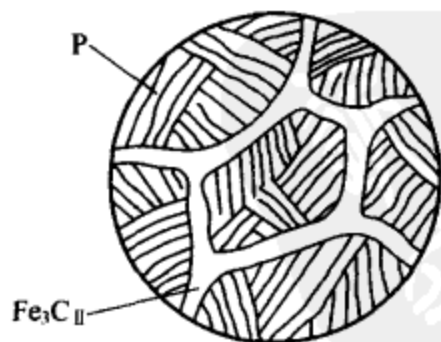
(4) 共晶渗碳体：含碳量 4.3% 的 Fe-C 合金在 1148°C 发生共晶反应时形成的渗碳体。

(5) 共析渗碳体：含碳量 0.77% 的 Fe-C 合金在 727°C 发生共析反应时生成的渗碳体。

$$2. P\% = \frac{0.6 - 0.0218}{0.77 - 0.0218} \times 100\% = 77.2\%$$



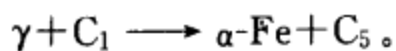
$$3. Fe_3C_{II} \% = \frac{1.0 - 0.77}{6.69 - 0.77} \times 100\% = 3.9\%$$



$$4. P\% = \frac{4.3 - 3.0}{4.3 - 2.11} \times \frac{6.69 - 2.11}{6.69 - 0.77} \times 100\% = 45.9\%$$

$$Fe_3C_{II} \% = \frac{4.3 - 3.0}{4.3 - 2.11} \times \frac{2.11 - 0.77}{6.69 - 0.77} \times 100\% = 13.4\%$$

七、(11 分) 答：可写反应式的四相平衡： $L + \alpha\text{-Fe} \longrightarrow \gamma + C_4$ ； $\gamma + C_4 \longrightarrow \alpha\text{-Fe} + C_1$ ；

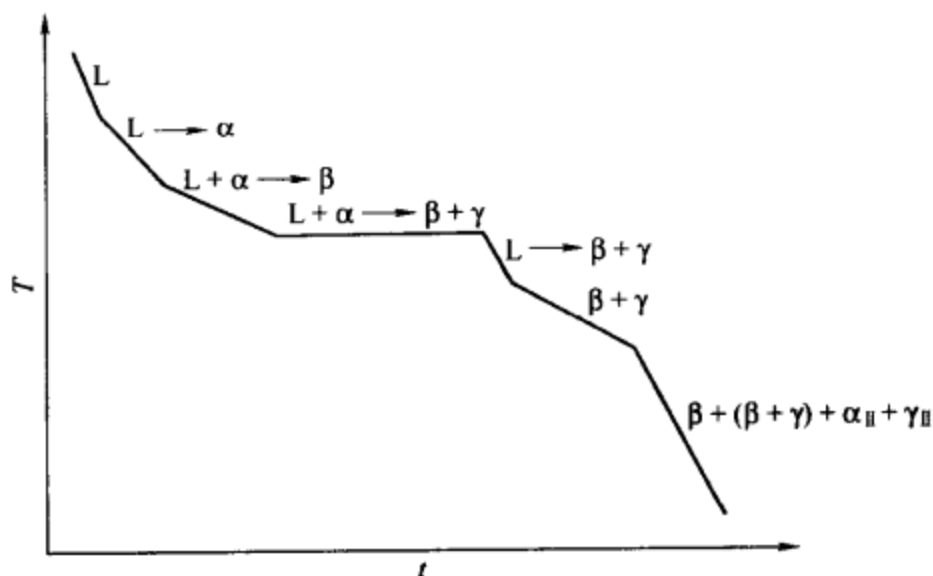


其他四相区： $\gamma + C_4 + L + C_1$ ； $\gamma + C_5 + L + C_1$ ； $\gamma + C_5 + L + C_3$ ； $\gamma + C_5 + C_3 + C_2$ ； $\gamma + C_5 + \alpha + C_2$ 。

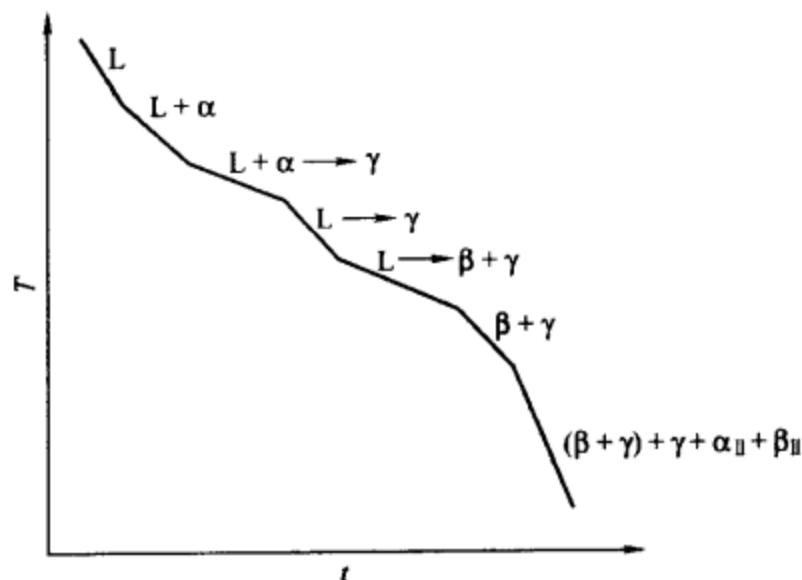
八、(12分) 答：1. 在三元系中发生的三相平衡反应为： $L + \alpha \longrightarrow \beta$ ； $L + \alpha \longrightarrow \gamma$ ； $L \longrightarrow \beta + \gamma$ 。

2. 发生的四相平衡反应： $L + \alpha \longrightarrow \beta + \gamma$ 。

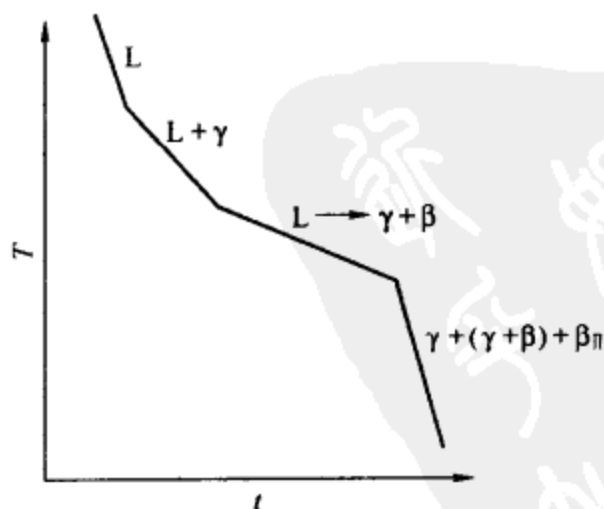
3. O点：



Q点：



R点：



九、(6分) 答：O： $L + W + WC \longrightarrow Fe_3W_3C$

P： $L + Fe_3W_3C \longrightarrow WC + \gamma\text{-Fe}$

Q： $L \longrightarrow C + WC + \gamma\text{-Fe}$

试题十一解析

一、单选题 (20 分, 每小题 2 分)

1. d 2. c 3. a 4. d 5. c 6. d 7. c 8. c 9. a 10. c

二、(16 分) 1. 答: 不相同, 因为对均匀形核, 形核功 $\Delta G^* = \frac{16}{3} \times \frac{\pi \sigma^3}{(\Delta G_V)^2} =$

$\frac{16\pi\sigma^3 T_m^2}{3 (L_m \Delta T)^2}$, 而非均匀形核形核功 $\Delta G_{\text{非}}^* = \Delta G^* (2 - 3\cos\theta + \cos^3\theta)/4$ 。一般情况下, $0 < \theta < 180^\circ$, 因此 $(2 - 3\cos\theta + \cos^3\theta)/4$ 小于 1, 即非均匀形核功小于均匀形核功。只有当 $\theta = 180^\circ$, 也就是型壁等非均匀形核因素不起作用时, 两者才相等。

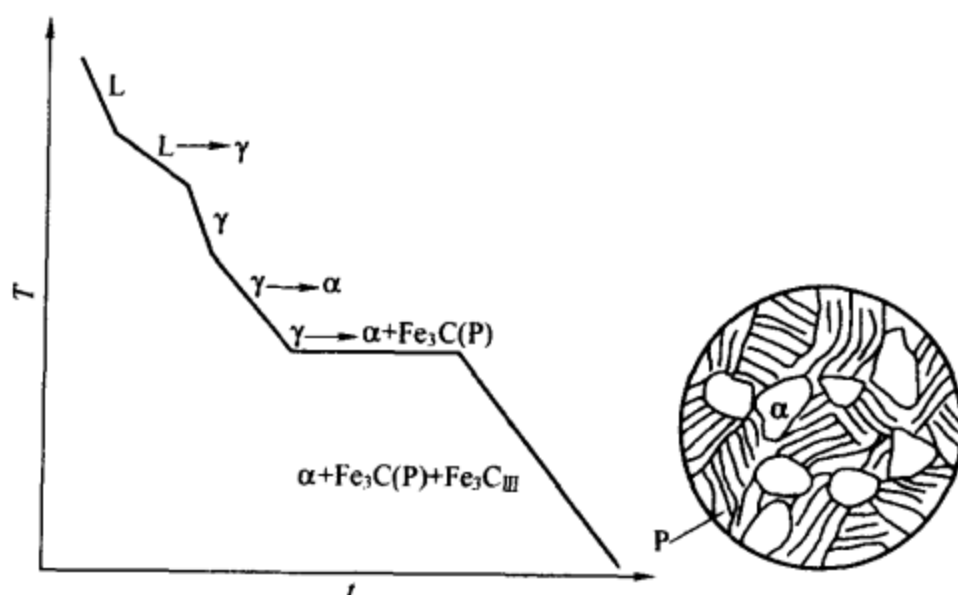
2. 答: 平衡凝固过程中液相和固相中的组元原子都能充分扩散, 凝固结束后, 固溶体成分均匀。实际上平衡凝固是难以达到的, 因为实际凝固过程中的冷却速度较快, 没有足够时间使固液两相的成分扩散均匀, 这就是正常凝固过程。

3. 答: 不会, 因为纯金属凝固时液固界面前沿没有溶质积聚, 无边界层。

4. 答: 单相固溶体正常凝固时的液相成分是均匀的, 属于完全混合, 没有边界层的存在, 因此不会产生成分过冷。

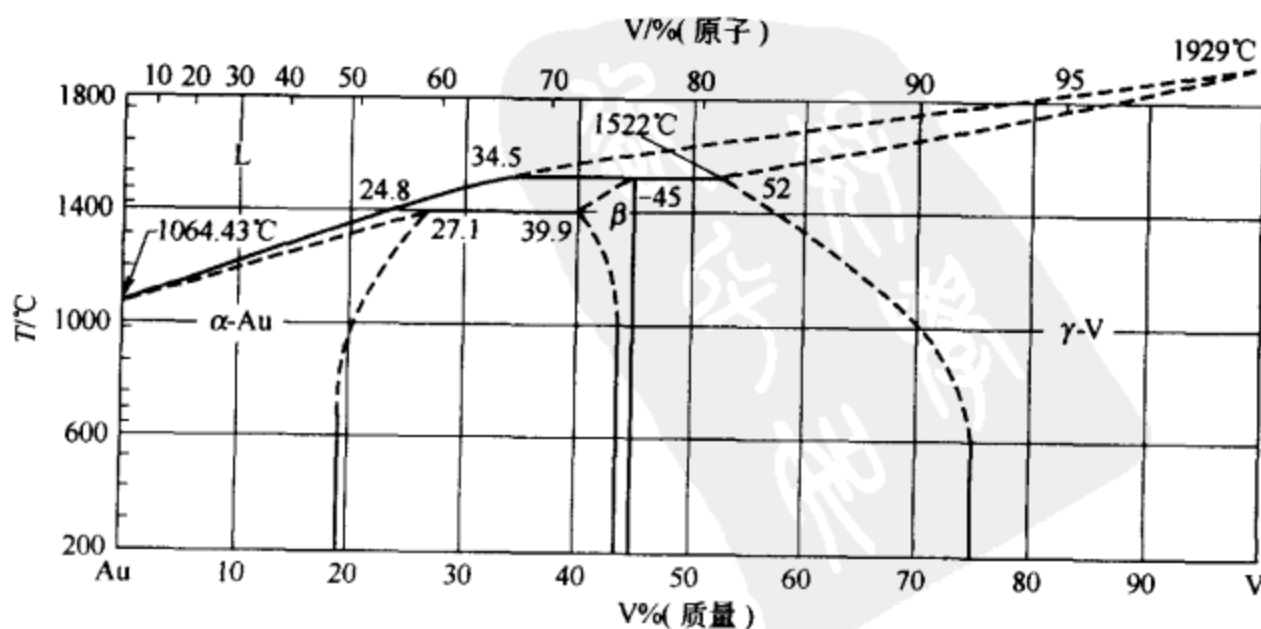
三、(10 分) 答: 1. $1495^\circ\text{C}: L_{0.53} + \alpha_{0.09} \longrightarrow \delta$, 包晶; $1154^\circ\text{C}: L_{4.26} \longrightarrow \gamma_{2.08} + C$, 共晶; $1148^\circ\text{C}: L_{4.3} \longrightarrow \gamma_{2.11} + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$, 共晶 (莱氏体 L_d); $727^\circ\text{C}: \gamma_{0.77} \longrightarrow \alpha_{0.0218} + \text{Fe}_3\text{C}$, 共析。

2.

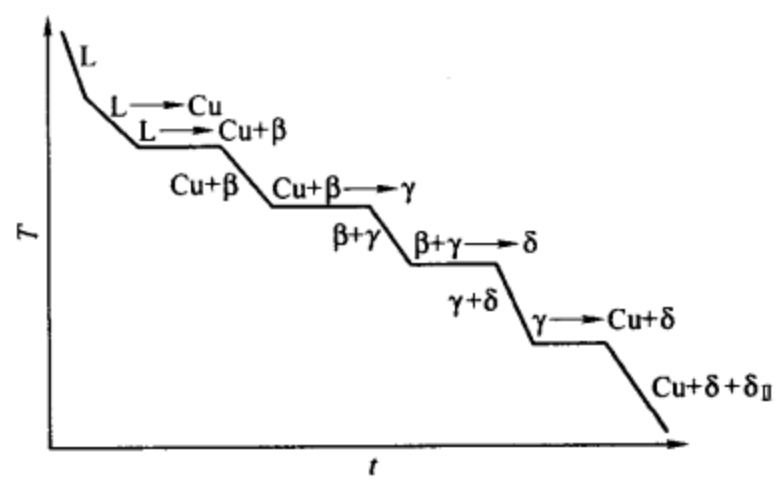


$$3. P\% = \frac{1.5 - 0.77}{6.69 - 0.77} \times 100\% = 12.3\%$$

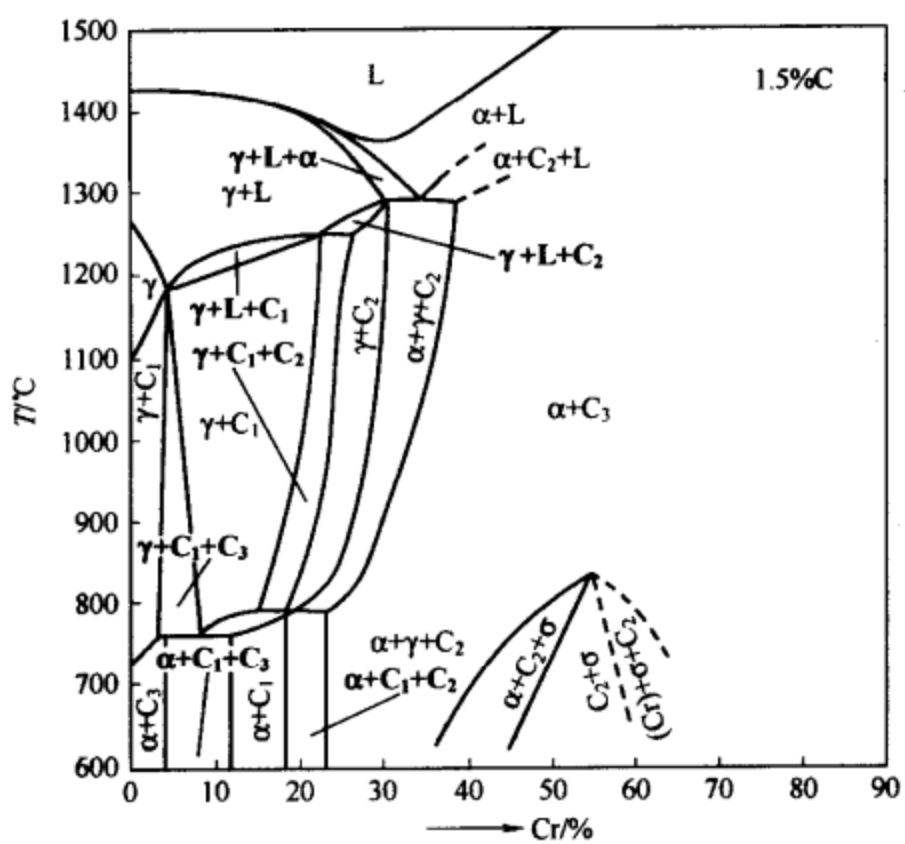
四、(10 分)



五、(10 分) 答：645℃：L → Cu + β；586℃：L + β → η；488℃：Cu + β → γ；462℃：γ + β → δ；400℃：γ → Cu + δ。

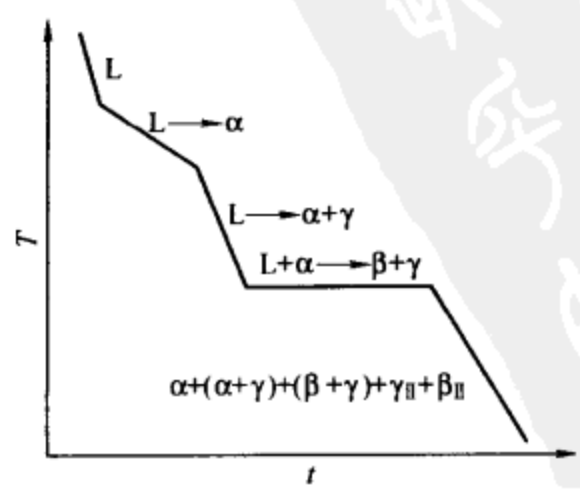


六、(10 分) 答：1. 有三个四相平衡反应：L + α → γ + C₂；γ + C₂ → α + C₁；γ + C₁ → α + C₃。
2.

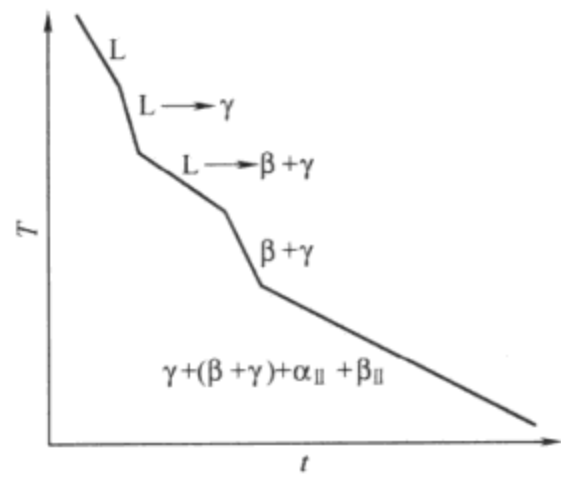


3. 不能，所给截面碳含量不对。

七、(10 分) 答：1. 共晶反应：L → α + β；L → α + γ；L → γ + β。
2. 包共晶反应：L + α → β + γ。
3. O 点：



P 点:



八、(4 分) 答: P 点: $L + Pb \longrightarrow Sn + \beta$; E_T 点: $L \longrightarrow Sn + \beta + Bi$ 。

九、(10 分) 1. 答: 动态过冷度: 液固界面向液相移动时所需要的过冷度。

2. 答: 准晶: 具有长程定向有序, 而没有周期平移有序, 内部原子具有 5、8、10、12 次对称轴的固体材料。

3. 答: 亚稳态: 材料在热力学上不处于能量最小状态, 而是处于一个能量极小状态, 为非平衡的亚稳态。

4. 答: 伪共晶: 合金成分偏离共晶时得到的 100% 共晶组织。

5. 答: 正常凝固: 凝固过程中液相成分一直处于均匀状态的凝固。

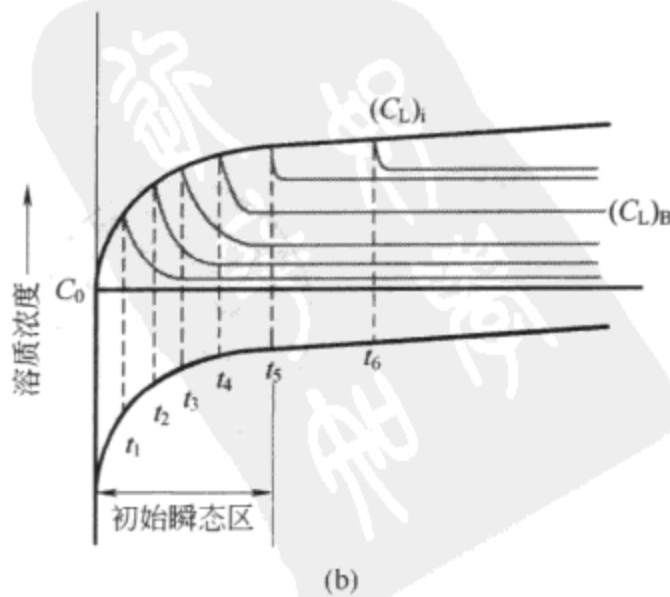
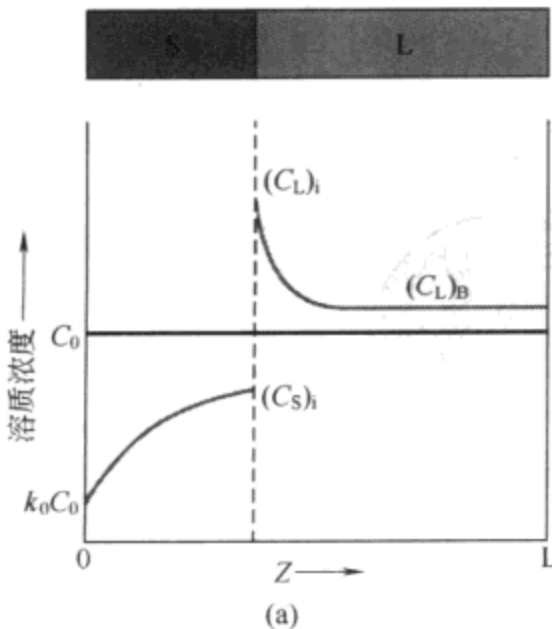
试题十二解析

一、单选题 (24 分, 每小题 2 分)

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

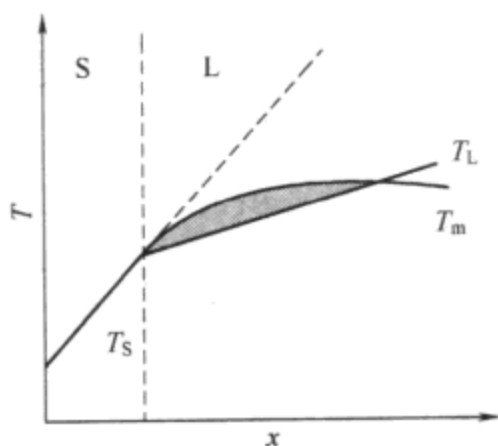
二、(16 分) 1. 答: 根据相图, 固相从液相中结晶时, 成分与液相不同, 因此在结晶过程中固相不断排除溶质原子, 导致在液-固界面液相侧溶质原子积聚。此时原子的运动路线是固相-界面-液相。开始时, 固相中排除的原子比从界面层向液相排出的原子多, 导致界面层上溶质原子浓度升高, 此时称为初瞬态。当溶质原子在界面层上的浓度高达一定程度时, 达到动态平衡, 即从固相到界面与从界面到液相的原子流量相同, 此时在固液相间形成了一层溶质原子浓度高于液相的过渡层, 称为边界层。

2. 答: 平衡分配系数是指在平衡凝固时固相与液相中溶质浓度之比, 即 $k_0 = (C_S)_i / (C_L)_i$; 有效分配系数是指在非平衡凝固时, 当边界层建立后, 边界固相侧溶质浓度和边界以外的液相中溶质浓度之比, 即下图中 $k_e = (C_S)_i / (C_L)_B$ 。



3. 答：当 $k_e = k_0$ 时，出现正常凝固，此时没有边界层，液相内成分完全均匀；当 $k_e = 1$ 时，铸锭内成分最均匀；当 $k_e = k_0$ 时，即正常凝固时成分最不均匀。

4. 答：如下图虚线所示，当边界层中温度梯度与边界层浓度分布曲线相切时，是成分过冷的临界条件。若温度分布曲线斜率小于切线斜率时则有成分过冷，反之则没有成分过冷。

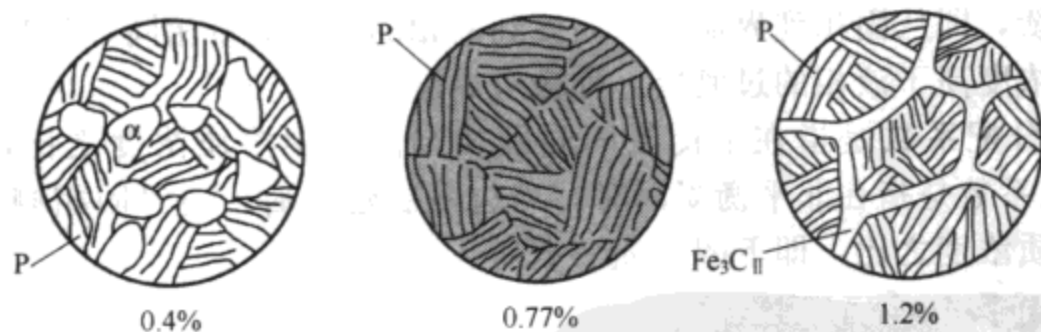


三、(8分) 答：1. 形核功 ΔG^* 是指形成一个临界晶坯时所需的能量，这个能量是靠能量起伏提供的。形核率是指单位时间和单位体积内形成的晶核数。临界半径是指临界晶坯的半径。临界晶核是指开始结晶时，晶坯的形成与长大需要靠系统能量起伏提供能量；当晶坯长到一定大小时，能量达到极大值，继续长大系统能量下降，此时的晶坯半径称为临界半径。

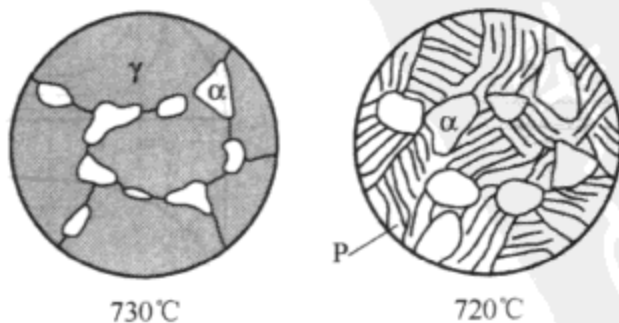
2. 另 2/3 靠在凝固过程中由体积自由能的下降提供。

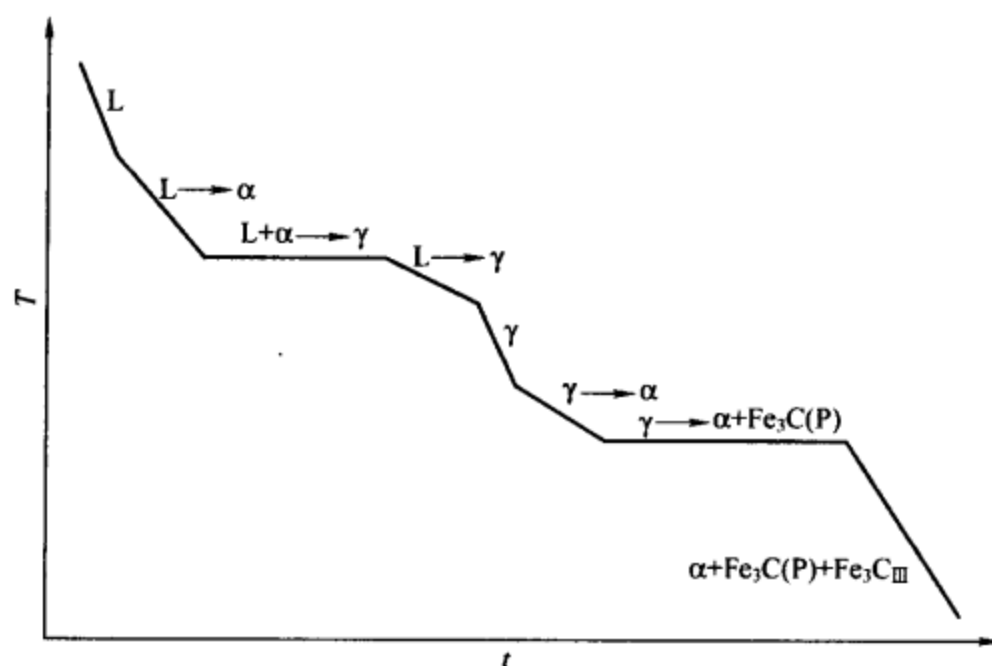
四、(12分) 答：1. 1495°C : $L_{0.53} + \alpha_{0.09} \longrightarrow \delta_{0.17}$, 包晶; 1154°C : $L_{4.26} \longrightarrow \gamma_{2.08} + \text{C}$, 共晶; 1148°C : $L_{4.3} \longrightarrow \gamma_{2.11} + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$, 共晶 (莱氏体 L_d); 738°C : $\gamma \longrightarrow \alpha + \text{C}$; 727°C : $\gamma_{0.77} \longrightarrow \alpha_{0.0218} + \text{Fe}_3\text{C}$, 共析。

2.



3.





4. 答: $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}} \% = \frac{1.0 - 0.77}{6.69 - 0.77} \times 100\% = 3.9\%$

五、(6分) 答: 736°C: 包晶反应, $\text{L} + \text{Ag} \longrightarrow \beta$; 640°C: 包晶反应, $\text{L} + \beta \longrightarrow \delta$; 440°C: 共析反应, $\beta \longrightarrow \text{Ag} + \gamma$; 230°C: 共析反应, $\gamma = \beta' + \delta'$ 。

六、(6分) 答: 四相平衡反应: $\text{SbSn} + \text{L} \longrightarrow \beta\text{-Sn} + \text{Pb}$

四个三相区: $\beta\text{-Sn} + \text{SbSn} + \text{L}$; $\text{Pb} + \text{SbSn} + \text{L}$; $\text{Pb} + \text{SbSn} + \beta\text{-Sn}$; $\beta\text{-Sn} + \text{Pb} + \text{L}$ 。

七、(12分) 答: 1. 四相区: $abP'C$ 。

2. 有, 分别是: A-B系: $\text{L} + \alpha \longrightarrow \beta$; B-C系: $\text{L} \longrightarrow \beta + \gamma$; C-A系: $\text{L} \longrightarrow \gamma + \alpha$ 。

3. $\text{L} + \alpha \longrightarrow \beta + \gamma$ 。

四相平衡反应后进入三相区, 发生 $\text{L} \longrightarrow \beta + \gamma$ 三相平衡反应。

4. 没有四相平衡反应, 只有三相平衡反应, $\text{L} + \alpha \longrightarrow \beta$ 。

八、(4分) 答: P点: $\text{L} + \text{W} + \text{WC} \longrightarrow \text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$

Q点: $\text{L} + \text{Fe}_3\text{W}_3\text{C} \longrightarrow \gamma\text{-Fe} + \text{WC}$

九、(5分) 答: 含C为3%, 含Cr为15%: 两相区 $\gamma + \text{C}_1$; 含C为3%, 含Cr为20%: 三相区 $\gamma + \text{C}_1 + \text{C}_2$ 。

十、(7分) 答: (a) 右端应封口, 因为纯组元熔点固定;

(b) 三相平衡时自由度为0, 液相成分应固定;

(c) 三相平衡时温度固定, 相图中应为水平线;

(d) 只能是三相平衡, 不能出现四相平衡;

(e) 只能是三相平衡, 不能出现四相平衡。

第二部分

《材料科学基础》(下)

(固体中的扩散、晶体缺陷、材料表面与界面、金属材料的变形与再结晶以及非金属材料的应力-应变行为与变形机制)

试 题 一

一、单选题 (每题 1 分, 共 10 分)

1. 晶体中产生一个空位或间隙原子时, ____。
a. 晶体体积 V 增加了一个原子体积, 点阵常数 a 不变
b. V 和 a 都有变化, 其中一个空位引起的体积膨胀小于一个原子体积
c. 间隙原子引起的体积膨胀比空位引起的体积膨胀小
2. 有两根平行右螺旋位错, 各自的能量都为 E_1 , 当它们无限靠近时, 总能量为 ____。
a. $2E_1$ b. 0 c. $4E_1$
3. 原子的扩散具有结构敏感的性质, 因此在多晶体金属和合金中其扩散激活能有 ____。
a. $Q_{\text{体积}} \geq 2Q_{\text{晶界}} \geq 2Q_{\text{表面}}$ b. $2Q_{\text{表面}} \geq Q_{\text{体积}} \geq 2Q_{\text{晶界}}$ c. $2Q_{\text{晶界}} \geq 2Q_{\text{表面}} \geq Q_{\text{体积}}$
4. 在单相组织中存在着大小不等的晶粒, 由界面曲率驱动界面移动的规律可知 ____。
a. 小晶粒将移向大晶粒一方, 直到晶粒大小相等
b. 大小晶粒吞并相邻晶粒, 同时长大
c. 晶界将移向小晶粒一方, 最后小晶粒将消失
5. 对同一材料, ____。
a. 拉伸所得的真应力-应变曲线在工程应力-应变曲线的上方; 压缩时所得的真应力-应变曲线在工程应力-应变曲线下方
b. 拉伸和压缩所得的真应力-应变曲线均在工程应力-应变曲线的上方
c. 拉伸和压缩所得的真应力-应变曲线均在工程应力-应变曲线的下方
6. 强化金属材料的各种手段, 考虑的出发点在于 ____。
a. 制造无缺陷的晶体或设置位错运动的障碍 b. 使位错增殖 c. 使位错适当地减少
7. 假设有一晶体的自由表面交截 Frank-Read 源, 自由表面恰好交截掉源的一半, 这个源仍然能产生位错, 则开动这个源所需的应力 ____。
a. 与原来相同 b. 是原来的一半 c. 是原来的二倍
8. 界面能最低的相界面是 ____。
a. 共格界面 b. 孪晶界 c. 小角度晶界
9. 位错上的割阶一般通过 ____ 形成。
a. 孪生 b. 位错的交滑移 c. 位错的交割
10. 许多面心立方金属, 在 ____ 过程中会形成孪晶。
a. 塑性变形 b. 从高温急冷至室温 c. 再结晶退火

二、判断题（正确的打√，错误的打×，每题1分，共10分）

1. 扩展位错之间常夹有一片层错区，因此扩展位错是面缺陷。 ()
2. 金属中点缺陷的存在使其电阻率增大。 ()
3. 经过冷变形后再结晶退火的金属，晶粒都可得到细化。 ()
4. 两个相互平行的位错，一个为纯螺型，另一个为纯刃型，则这两个位错之间没有相互作用。 ()
5. 在面心立方晶体结构的置换型固溶体中，原子扩散的方式一般为空位机制。 ()
6. Cu-Zn组成的互扩散偶发生扩散时，其标志面将向Cu一端移动。 ()
7. 二元系在恒温下发生扩散时，扩散层内不可能存在两相区。 ()
8. 高聚物中的大分子无论是呈无定形态还是呈结晶形态，随着变形程度的增加都逐渐发生了沿外力方向的定向排列，从而产生了应变硬化。 ()
9. 多边化使分散分布的位错集中在一起形成位错墙，因位错应力场的叠加，使点阵畸变增大。 ()
10. 在合金中，第二相与基体之间界面能的大小决定了第二相的形貌和分布。 ()

三、简答题（每题5分，共30分）

1. 判断下列位错反应能否进行：

$$\frac{a}{2} [10\bar{1}] + \frac{a}{2} [011] \longrightarrow \frac{a}{2} [110]$$

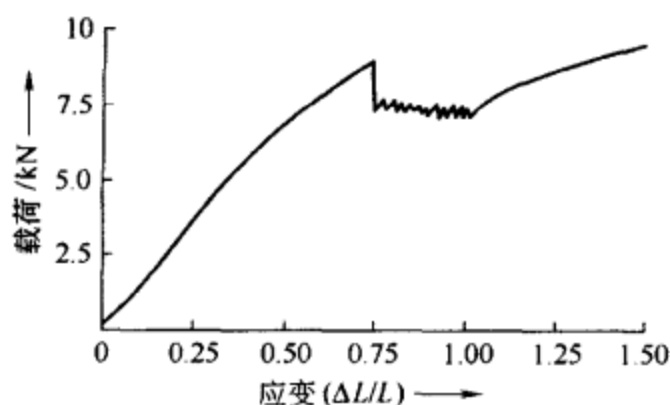
2. 试比较单晶铝和多晶铝的加工硬化特性。
3. 何谓上坡扩散？简述其产生的原因。
4. 何谓超塑性？产生的条件是什么？
5. 陶瓷晶体塑性变形有何特点？
6. 从显微组织上如何区分动、静态回复和动、静态再结晶？

四、某铜单晶体在外加拉伸应力作用下，首先开动的滑移系为 $(111) [10\bar{1}]$ 。(15分)

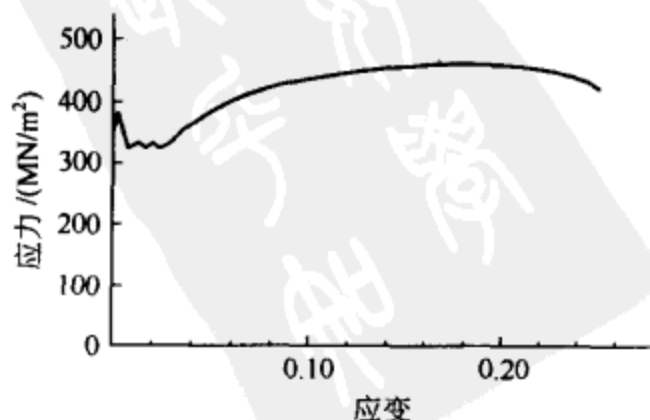
- (1) 写出引起滑移的单位位错的柏氏矢量，并说明原因。
- (2) 如果滑移是由纯刃型位错引起的，试指出位错线的方向以及滑移时位错线运动的方向。
- (3) 假定拉伸轴方向为 $[001]$ ， $\sigma = 10^6 \text{ Pa}$ ，求在上述滑移面上该刃型位错所受力的大小和方向（已知Cu的点阵常数 $a = 0.36 \text{ nm}$ ）。

五、一含碳量为0.10%低碳钢零件，在930℃下渗碳3h后，距离表面0.05cm处的碳浓度达到0.45%。若在相同渗碳气氛中，在T温度下渗相同时间，能使距表面0.10cm处的碳浓度为0.45%，求T为多少（已知碳的扩散激活能 $Q = 145000 \text{ J/mol}$ ， $R = 8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$ ，并假定 D_0 不变）。(10分)

六、试分析下面两条拉伸曲线中锯齿形平台的产生原因。(15分)



(a) 铜单晶在4.2K的拉伸曲线



(b) 低碳钢(0.20%C)退火态的工程应力-应变曲线

七、有人将工业纯铝在室温下进行大变形量轧制，制得一批薄片试样，所测得的室温强度 σ 表明试样呈冷加工状态。然后将其他剩余试样加热到 100°C 放置 12 天，再冷却后测得其室温强度比 σ 明显降低。试验者查得工业纯铝的 T_R 为 150°C ，所以他排除了发生再结晶的可能性。请解释上述现象，并说明如何证明你的设想。(10 分)

试 题 二

一、单选题 (每题 1 分，共 10 分)

1. 在一块晶体中有一根刃型位错线 M 和一根相同长度的螺位错线 N ，且这两根位错线的柏氏矢量相同，比较两者的能量，有____。
a. $E_M > E_N$ b. $E_M < E_N$ c. $E_M = E_N$
2. 面心立方晶体中，Frank 不全位错最通常的运动方式是____。
a. 沿 $\{111\}$ 面滑移 b. 沿垂直于 $\{111\}$ 的面攀移 c. 沿 $\{111\}$ 面攀移
3. 金属的自扩散的激活能应等于____。
a. 空位的形成能和迁移激活能的总和 b. 空位的形成能 c. 空位的迁移激活能
4. 冷变形金属中产生大量的空位、位错等晶体缺陷，这些缺陷的存在，____。
a. 阻碍原子的移动，减慢扩散过程 b. 对扩散过程无影响
c. 加速了原子的扩散过程
5. 已知铝的层错能为 300mJ/m^2 ，不锈钢的层错能为 10mJ/m^2 ，比较二者的真应力-应变曲线可以发现____。
a. 铝的真应力-应变曲线上第二阶段较长
b. 不锈钢的真应力-应变曲线上第二阶段较长
c. 二者的真应力-应变曲线上第二阶段长短相差不明显
6. 既能提高金属的强度，又能降低其脆性的手段是____。
a. 加工硬化 b. 固溶强化 c. 晶粒细化 d. 第二相强化
7. 从 Frank-Read 位错增殖模型考虑，金属沉淀强化后的屈服强度 τ 与沉淀相粒子平均间距 L 的关系为____。
a. $\tau \propto L$ b. $\tau \propto 1/L$ c. $\tau \propto 1/L^2$
8. 在室温下经轧制变形 50% 后的高纯铅的显微组织为____。
a. 沿轧制方向伸长的细条状晶粒 b. 纤维状晶粒 c. 等轴晶粒
9. 如果倾斜晶界中的位错的平均柏氏矢量不与晶界面垂直，则____。
a. 晶界能量较低 b. 晶界会有长程应力 c. 晶界位错构成一种亚稳定组态
10. 有两批工业纯铝试样，分别于第一天和第四天轧制后同时进行再结晶退火，如果轧制变形量相同，则比较这两批试样的再结晶温度就可发现，____。
a. 第一批试样的再结晶温度较高 b. 第二批试样的再结晶温度较高
c. 两批试样具有相同的再结晶温度

二、判断题 (正确的打√，错误的打×，每题 1 分，共 10 分)

1. 晶粒长大过程就是晶界迁移过程，也就是晶界的平直化过程，所以只要晶界平直了，晶粒就不长大了。 ()
2. 一个不含空位的完整晶体在热力学上是不稳定的。 ()
3. 间隙固溶体中溶质浓度越高，则溶质所占据的间隙越多，供扩散的空位间隙越少，导致扩散系数下降。 ()

4. 变形金属只有在通常定义的再结晶温度以上才能发生再结晶，此温度以下不可能发生再结晶。 ()
5. 位错受力方向处处垂直于位错线，位错运动过程中，晶体发生相对滑动的方向始终是柏氏矢量方向。 ()
6. 渗碳处理常常在钢的奥氏体区域进行，这是因为碳在奥氏体中的浓度梯度比在铁素体中的大。 ()
7. 回复、再结晶及晶粒长大三个过程均是形核及核长大过程，其驱动力均为变形储能。 ()
8. 由于陶瓷粉末烧结时难以避免的显微空隙，在随后成型过程中产生微裂纹，导致陶瓷的实际拉伸强度低于理论的屈服强度。 ()
9. 晶体中的滑移和孪生都不改变原有的晶体结构，但孪生变形却使晶体的变形部分发生了位向变化。 ()
10. 再结晶组织是再结晶过程中被保留下来的变形组织。 ()

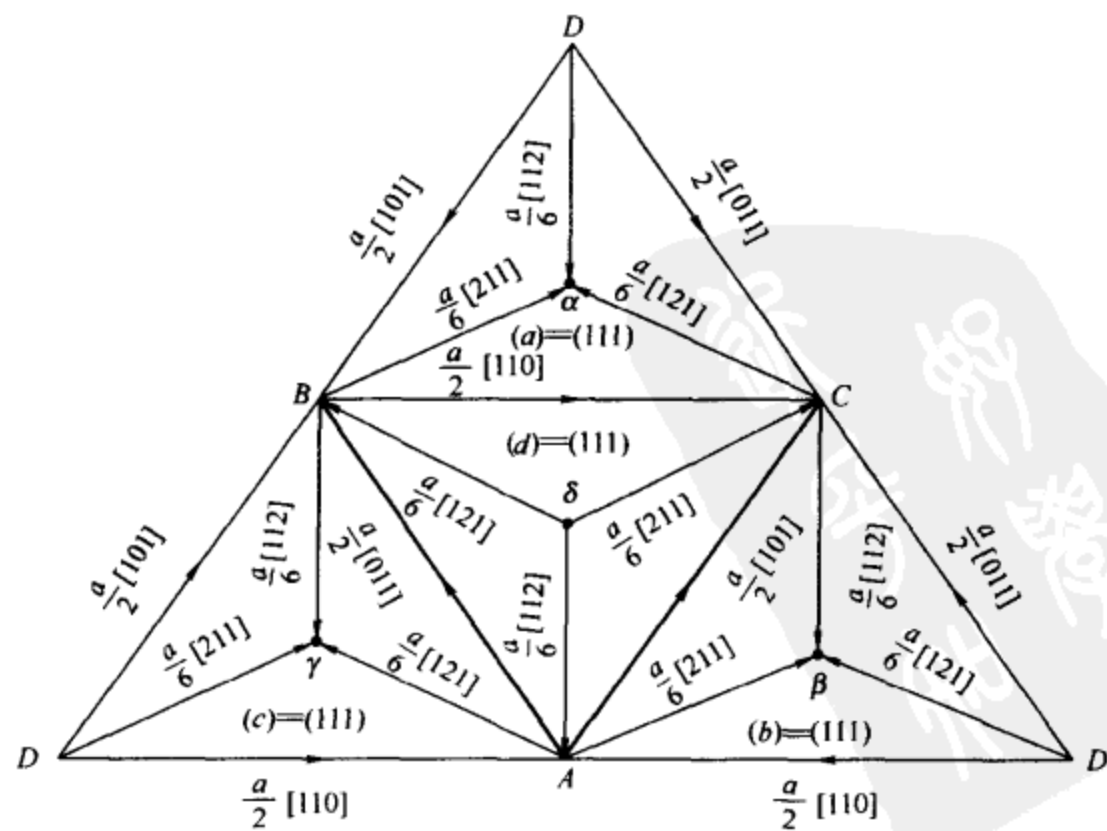
三、简答题 (每题 5 分，共 30 分)

1. 在面心立方晶体中有下述位错反应： $\frac{a}{2} [10\bar{1}] + \frac{a}{6} [\bar{1}21] \longrightarrow \frac{a}{3} [11\bar{1}]$ 。判断该反应能否进行。
2. 试比较单晶铜和多晶铜的塑性变形特点。
3. 在室温下对铁板 (其熔点为 1538°C) 和锡板 (其熔点为 232°C)，分别进行来回弯折，随着弯折的进行，各会发生什么现象？为什么？
4. 为什么结构材料通常采用两相或多相合金而一般不采用单相合金？
5. 将已冷拉变形的高聚物加热到它的玻璃化温度以上时，冷拉中产生的形变是否能恢复？
6. Cu-Zn 组成的互扩散偶发生扩散时，标志面会向哪个方向移动？为什么？

四、面心立方晶体中 $(1\bar{1}1)$ 面上有 $\frac{a}{2}[110]$ 的螺位错，若分解为 Shockley 分位错。

(15 分)

(1) 试写出位错反应式。



(2) 已知点阵常数 $a=0.3\text{nm}$, 切变模量 $G=48000\text{MN/m}^2$, 层错能 $\gamma=0.04\text{J/m}^2$, 求扩展位错的宽度。

(3) 层错能的高低对螺型位错的运动有何影响?

五、Cu-Zn 合金的构件在 900°C 加热 10min 后表面因 Zn 蒸发而脱 Zn, 导致距表面 1mm 深处的性能有一定程度的变化。问该合金构件在 800°C 放置多少时间, 在距表面 0.5mm 处将发生上述同样程度的性能变化? (设 Zn 的扩散激活能 $Q=20000R$, R 为气体常数, 假定 D_0 不变) (10 分)

六、(10 分) 已知单晶铜的 $\{111\} [101]$ 滑移系的临界分切应力 τ_c 为 1MPa , 问:

(1) 要使 $(\bar{1}11)$ 面上产生 $[101]$ 方向的滑移, 则在 $[001]$ 方向上应施加多大的应力?

(2) 假设在单晶铜中只开动 $(\bar{1}11) [101]$ 滑移系, 那么随着滑移的进行, 拉伸试样中 $(\bar{1}11)$ 面会产生什么现象? 它对随后的进一步变形有何影响?

七、(15 分) 试用位错理论解释: (1) 单晶体加工硬化现象; (2) 细晶强化机理。

试 题 三

一、单选题 (每题 1 分, 共 20 分)

1. 能进行攀移的位错可能是_____。

a. 弗兰克位错 b. 肖克莱位错 c. 螺型全位错

2. 对 Fe-Cr-C 三元合金进行渗碳的反应扩散, 则该合金中不能出现_____。

a. 单相区 b. 两相区 c. 三相区

3. FCC、BCC、HCP 三种晶体结构的材料中, 塑性形变时最容易生成孪晶的是_____。

a. FCC b. BCC c. HCP

4. 如下说法哪个是正确的, _____。

a. 形成点缺陷所引起的熵的变化使晶体能量增加

b. 晶体总是倾向于降低点缺陷的浓度

c. 当点缺陷浓度达到平衡值时, 晶体自由能最低

5. 两根具有反向柏氏矢量的刃型位错在被一个原子面相隔的两个平行滑移面上相向运动以后, 在相遇处_____。

a. 相互抵消 b. 形成一排间隙原子 c. 形成一排空位

6. 在一块晶体中有一刃型位错 P 和一根相同长度的螺型位错 Q, 且这两根位错线的柏氏矢量相同, 则两者的能量大小关系为_____。

a. $E_P > E_Q$ b. $E_P < E_Q$ c. $E_P = E_Q$

7. A 和 A-B 合金焊合后发生柯肯达尔效应, 测得界面向 A 试样方向移动, 则_____。

a. A 组元的扩散速率大于 B 组元 b. A 组元的扩散速率小于 B 组元

c. A、B 组元的扩散速率相同

8. 位错运动方向处处垂直于位错线, 在运动过程中是可变的, 晶体做相对滑动的方向_____。

a. 随位错线运动方向而改变 b. 始终是柏氏矢量方向 c. 始终是外力的方向

9. 假如相邻晶粒位向差 $\theta=1^\circ$ 的小角对称倾侧晶界, 刃型位错的 $b=0.25\text{nm}$, 则位错间距为约_____ nm。

a. 8 b. 14 c. 25

10. 位错线张力是以单位长度位错线能量来表示, 则一定长度位错的线张力具有_____量纲。

- a. 长度的 b. 力的 c. 能量的
11. 位错线上的割阶一般通过____形成。
a. 位错的交割 b. 交滑移 c. 孪生
12. 界面能最低的相界面是____。
a. 孪晶界 b. 共格界面 c. 小角度晶界
13. 在单相组织中存在着大小不等的晶粒，在长大过程中会发生____。
a. 小晶粒将移向大晶粒一方，直至晶粒大小相等
b. 界面将移向小晶粒一方，最后小晶粒将消失
c. 大小晶粒借吞并相邻晶粒同时长大
14. 退火孪晶出现的概率与晶体的层错能的关系为____。
a. 层错能低的晶体出现退火孪晶的概率高
b. 层错能高的晶体出现退火孪晶的概率高
c. 无关，只与退火温度和时间有关
15. 影响扩散系数的变化有多种因素，其中____。
a. 溶质原子的熔点越高，其在固溶体中的扩散系数越小
b. 溶质原子在元素周期表中离溶剂原子越近，扩散系数越大
c. γ -铁的自扩散系数大于 α -铁的自扩散系数
16. 单晶体的临界分切应力与____有关。
a. 外力相对于滑移系的取向 b. 拉伸时的屈服应力 c. 金属的类型与纯度
17. 在室温下经轧制变形 50% 的高纯铅的显微组织为____。
a. 沿轧制方向伸长的晶粒 b. 纤维状晶粒 c. 等轴状晶粒
18. 在金相试样表面上几组交叉滑移线的产生是由于____。
a. 交滑移 b. 多系滑移 c. 单滑移
19. 强化金属材料的各种手段的出发点都在于____。
a. 制造无缺陷的晶体或设置位错运动的阻碍
b. 使位错增殖 c. 使位错适当地减少
20. 既能提高金属的强度，又能降低其脆性的手段是____。
a. 加工硬化 b. 固溶强化 c. 细晶强化

二、判断题（正确的打√，错误的打×，每题 1 分，共 10 分）

1. 网络型高分子不可能出现黏流态。 ()
2. 一个位错环不可能处处都是螺位错，也不可能处处都是刃位错。 ()
3. 陶瓷晶体的变形除与结合键的本性有关外，还与晶体的滑移系少、位错的柏氏矢量大有关。 ()
4. 为了消除硫化物在钢中的热脆，其两面角要大。 ()
5. 再结晶结束后发生晶粒长大时的驱动力主要来自高的总晶界能。 ()
6. 扩散过程中，原子的流量直接正比于扩散时间。 ()
7. 由于碳在奥氏体中的扩散系数比铁素体中大，故钢的渗碳处理常常在奥氏体相区进行。 ()
8. 冷变形金属中存在大量的空位、位错等晶体缺陷，这些缺陷阻碍原子的移动，减缓扩散过程。 ()
9. 拉伸和压缩时所得的真应力-应变曲线都在工程应力-应变曲线上方。 ()
10. 二次再结晶是形核长大过程。 ()

三、看图填空（每空 1 分，共 19 分）

1. 铜单晶在 4.2K 拉伸变形时，经历了三个阶段（见图 1），分别为 a ____，b ____ 和 c ____。
2. 纯铁在 800℃ 长时间渗碳后（碳气氛为 1.5% C），缓慢冷却至室温的组织组成物如图 2 所示，表层 a 为 ____，b 为 ____，c 为 ____，d 为 ____。
3. 纯铜、黄铜和碳钢的拉伸强度与冷做功的关系曲线如图 3 所示，试指出 a 为 ____，b 为 ____，c 为 ____。
4. 温度对线性热塑性高聚物应力-应变行为的影响如图 4 所示，图中各种状态所对应的温度条件分别是，a ____，b ____，c ____，d ____。
5. 图 5 示出了冷变形金属在退火过程中亚晶粒尺寸、密度、硬度、电阻率、内应力等性能与温度的关系曲线，试指出 a 为 ____，b 为 ____，c 为 ____，d 为 ____，e 为 ____。

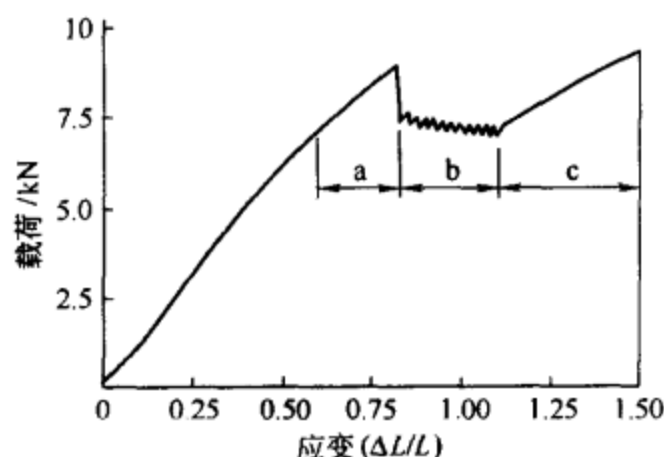


图 1 铜单晶在 4.2K 的拉伸曲线

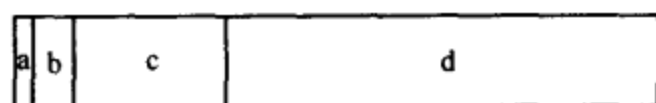


图 2

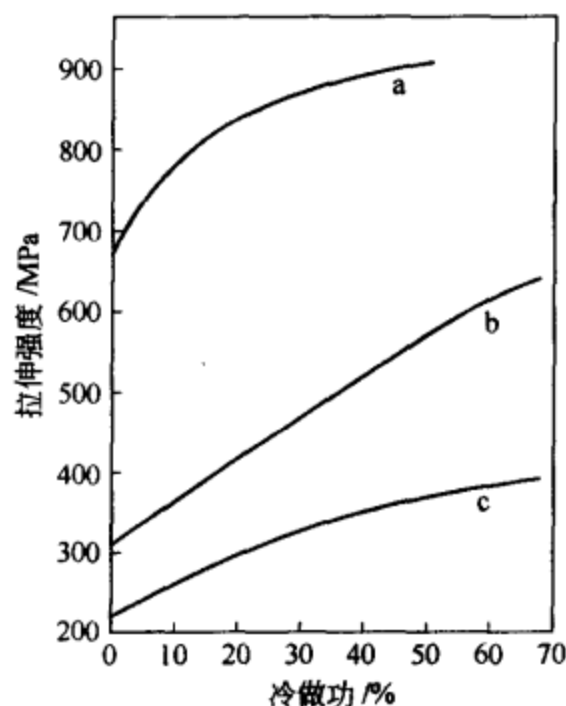


图 3

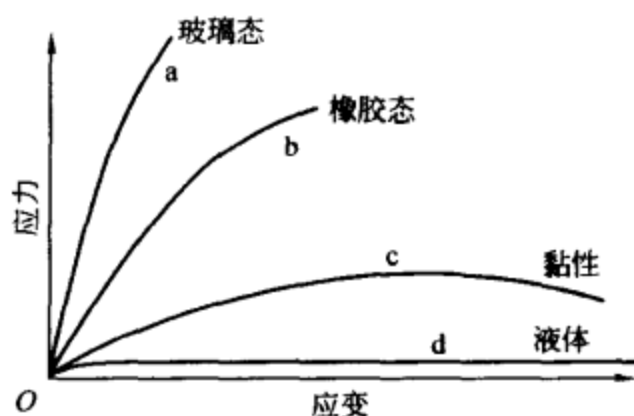


图 4 温度对热塑性高聚物应力-应变行为的影响

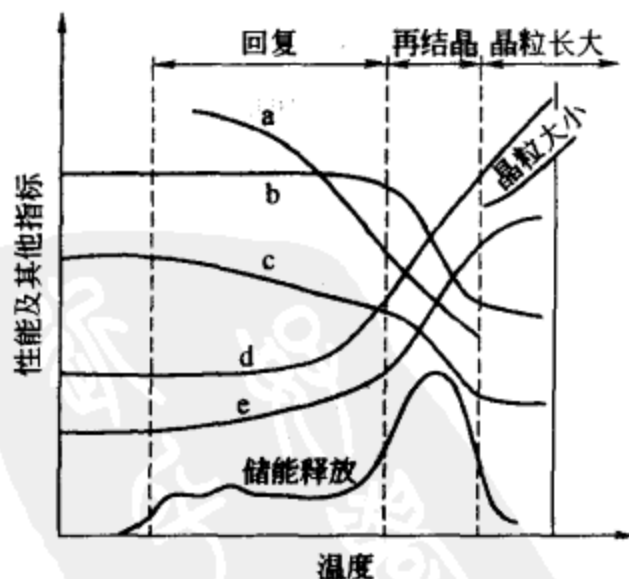


图 5 冷变形金属退火时某些性能的变化

四、简答题（第 1 题 2 分，2~4 题每题 3 分，第 5 题 4 分，第 6 题 8 分，共 23 分）

1. 何谓上坡扩散？其产生的条件是什么？

2. 何谓超塑性？其产生的条件是什么？
3. 陶瓷晶体的理论屈服强度很高，但其实际拉伸强度或断裂强度却很低，而压缩强度又比其拉伸强度约高一个数量级，简述其原因。
4. 简述再结晶结束后晶粒正常长大的影响因素。
5. 画出 Frank-Read 源位错增殖过程示意图。
6. 试从柏氏矢量、位错类型、位错线形状和可能的运动方式比较面心立方晶体全位错、弗兰克分位错、肖克莱分位错和面角位错的特点。

五、(10 分) 870℃ 渗碳与 927℃ 渗碳相比较，优点是热处理后产品晶粒细小。

1. 计算上述两个温度下碳在 γ -铁中的扩散系数。已知 $D_0 = 2.0 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q = 140 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$, $R = 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 。

2. 870℃ 渗碳需用多长时间才能获得与 927℃ 渗碳 10h 相同的渗层厚度（不同温度下碳在 γ -铁中的溶解度差别可忽略不计）。

六、(10 分) 有一面心立方单晶体，在 (111) 面滑移的柏氏矢量为 $\frac{a}{2} [10\bar{1}]$ 的右螺型位错，与在 ($1\bar{1}1$) 面上滑移的柏氏矢量为 $\frac{a}{2} [011]$ 的另一右螺型位错相遇于此两滑移面交线。问：

1. 此两位错能否进行下述反应： $\frac{a}{2} [10\bar{1}] + \frac{a}{2} [011] \rightarrow \frac{a}{2} [110]$ ，为什么？
2. 说明新生的全位错属哪类位错？该位错能否滑移？为什么？
3. 若沿 $[010]$ 晶向施加大小为 17.2MPa 的拉应力，试计算该新生全位错单位长度的受力大小，并说明方向（设晶格常数为 $a = 0.2 \text{ nm}$ ）。

七、联系实际题（每题 4 分，共 8 分）

1. 工业生产中，为防止深冲用的低碳薄钢板在冲压成型后所制得的工件表面粗糙不平，通常采用何种工艺？说明理由。

2. 某工厂用一冷拉钢丝绳将一大型钢件吊入热处理炉内，由于一时疏忽，未将钢丝绳取出，而是随同工件一起加热至 860℃。保温时间到了，打开炉门，用该钢丝绳吊出工件时，钢丝绳发生断裂，试分析原因。

试 题 四

一、单选题（每题 1 分，共 20 分）

1. 金属中点缺陷的存在使热导率____。
 - a. 增大
 - b. 减小
 - c. 不受影响
2. 过饱和点缺陷（如淬火空位、辐照缺陷）____金属的屈服强度。
 - a. 降低
 - b. 提高
 - c. 不改变
3. FCC、BCC、HCP 三种晶体结构的材料中，塑性形变时最容易生成孪晶的是____。
 - a. FCC
 - b. BCC
 - c. HCP
4. 刃形位错的割阶部分____。
 - a. 为刃形位错
 - b. 为螺形位错
 - c. 为混合型位错
5. 面心立方晶体中 Frank 不全位错最通常的运动方式是____。
 - a. 沿 $\{111\}$ 面滑移
 - b. 沿垂直于 $\{111\}$ 的面攀移
 - c. 沿 $\{111\}$ 面攀移

6. 在一块晶体中有一刃型位错 P 和一根相同长度的螺型位错 Q, 且这两根位错线的柏氏矢量相同, 则两者的能量大小关系为_____。
- a. $E_P > E_Q$ b. $E_P < E_Q$ c. $E_P = E_Q$
7. 位错塞积群的一个重要效应是在它的前端引起_____。
- a. 应力偏转 b. 应力松弛 c. 应力集中
8. 面心立方晶体中关于 Shockley 分位错的话正确的是_____。
- a. Shockley 分位错可以是刃型、螺型或混合型
b. 刃型 Shockley 分位错能滑移和攀移
c. 螺型 Shockley 分位错能交滑移
9. 汤普森四面体中罗-罗向量、不对应罗-希向量、对应罗-希向量、希-希向量分别有_____个。
- a. 12, 24, 8, 12 b. 24, 24, 8, 12 c. 12, 24, 8, 6
10. 原子的扩散具有结构敏感性, 因此在多晶金属和合金中有_____。(Q 为扩散激活能, 下标体积、晶界和表面分别代表体扩散、晶界扩散和表面扩散)
- a. $Q_{\text{体积}} \geq Q_{\text{晶界}} \geq Q_{\text{表面}}$ b. $Q_{\text{表面}} \geq Q_{\text{体积}} \geq Q_{\text{晶界}}$ c. $Q_{\text{晶界}} \geq Q_{\text{表面}} \geq Q_{\text{体积}}$
11. 界面能最低的相界面是_____。
- a. 孪晶界 b. 共格界面 c. 小角度晶界
12. 冷变形使金属中产生大量的空位、位错等晶体缺陷, 这些缺陷的存在, _____。
- a. 阻碍原子的移动, 减慢扩散过程 b. 对扩散过程无影响
c. 加速了原子的扩散过程
13. 影响扩散系数的变化有多种因素, 其中, _____。
- a. 溶质原子的熔点越高, 其在固溶体中的扩散系数越小
b. 溶质原子在元素周期表中离溶剂原子越近, 扩散系数越大
c. γ -铁的自扩散系数大于 α -铁的自扩散系数
14. 在单晶金相试样表面上几组交叉滑移线的产生是由于_____。
- a. 交滑移 b. 多系滑移 c. 单滑移
15. 强化金属材料的各种手段的出发点都在于_____。
- a. 制造无缺陷的晶体或设置位错运动的阻碍
b. 使位错增殖 c. 使位错适当地减少
16. 加工硬化是一种有效的强化手段, 其缺点是_____。
- a. 只适用于双相材料 b. 材料在高温下不适用 c. 只适用于单晶体
17. 复相合金当一相为脆性相分布在另一相基体上时, 对材料的强韧性比较有利的组织形态是_____。
- a. 一相呈网状分布在另一相晶界上
b. 一相以颗粒状弥散分布于另一相基体上
c. 一相以大块状分布在另一相基体上
18. 既能提高金属的强度, 又能降低其脆性的手段是_____。
- a. 加工硬化 b. 固溶强化 c. 细晶强化
19. Cu-Al 合金和 Cu 焊接成的扩散偶发生柯肯达尔效应, 其原始标记面向 Cu-Al 合金一侧漂移, 则两元素的扩散通量关系为_____。
- a. $J_{\text{Cu}} < J_{\text{Al}}$ b. $J_{\text{Cu}} > J_{\text{Al}}$ c. $J_{\text{Cu}} = J_{\text{Al}}$
20. _____, 位错滑移的派-纳力越小。

a. 相邻位错的距离越大 b. 滑移方向上的原子间距越大 c. 位错宽度越大

二、简答题 (1, 2 题各 3 分, 其余每题 4 分, 共 30 分)

1. 简述稳定多边化的形成原因。
2. 简述柏氏矢量的特性。
3. 影响界面迁移的因素有哪些?
4. 试比较单晶铜与多晶铜的加工硬化特性。
5. 简述陶瓷晶体的塑性变形特性。
6. 简述不可形变第二相弥散强化机制。
7. 什么是扩散激活能? 简述扩散激活能的实验测试方法。
8. 何谓晶体滑移的临界分切应力? 试说明测定单晶体临界分切应力的试验方法。

三、作图题 (每题 3 分, 共 12 分)

1. 画出弗兰克-瑞德源位错增殖过程示意图。
2. 画出冷变形金属退火时强度、延伸率、电阻率、内应力随温度增加的变化示意图。
3. 画出线型非晶态高分子材料的形变-温度曲线。
4. 显微组织为等轴晶粒的纯锡箔被一高速飞行的子弹击穿, 试画出锡箔上弹孔周围的显微组织示意图, 并作简要说明。

四、碳质量分数为 0.1% 的低碳钢工件, 置于碳质量分数为 1.2% 的渗碳气氛中, 在 920℃ 下进行渗碳。若要求在离工件表面 0.8mm 处含碳的质量分数为 0.45%, 问需要多少渗碳时间? 并画出: 渗碳结束前、渗碳结束后缓慢冷却至室温这两种情况下工件表层至心部平衡组织示意图。已知: 碳在 γ -Fe 中 920℃ 时的扩散激活能为 134000J/mol, $D_0 = 0.23\text{cm}^2/\text{s}$, $\text{erf}(0.71)=0.68$, $\text{erf}(0.72)=0.69$, $\text{erf}(0.73)=0.70$ 。(15 分)

五、在铜单晶体中的 (111) 和 $(11\bar{1})$ 滑移面上各存在一个柏氏矢量为 $\frac{a}{2} [1\bar{1}0]$ 和 $\frac{a}{2} [011]$ 的全位错, 当它们分解为扩展位错时, 其领先位错分别为 $\frac{a}{6} [2\bar{1}\bar{1}]$ 和 $\frac{a}{6} [\bar{1}21]$ 。(15 分)

1. 求它们可能的位错分解反应。
2. 当两领先位错在各自的滑移面上运动相遇时, 发生了新的位错反应。试写出其位错反应式, 判断该反应能否自发进行? 并分析该新生成的位错其位错特性和运动性质。
3. 已知铜单晶 $a=0.36\text{nm}$, 切变模量 $G=4\times 10^4\text{MPa}$, 层错能 $\gamma=0.04\text{J}/\text{m}^2$, 试求上述柏氏矢量为 $\frac{a}{2} [1\bar{1}0]$ 的位错形成扩展位错的宽度。

六、联系实际题 (每题 4 分, 共 8 分)

1. 冷拉铜导线在用作架空导线时 (要求一定的强度) 和电灯花导线 (要求韧性好) 时, 应分别采用什么样的最终热处理工艺才合适?
2. 为细化某纯铝板晶粒, 将其冷变形 5% 后于 620℃ 退火 1h, 组织反而粗化, 增大冷变形量至 80%, 再于 620℃ 退火 1h, 仍然得到粗大晶粒。试分析其原因, 指出上述工艺不合理之处, 并拟定一种合理的晶粒细化工艺。

试 题 五

一、单选题 (每题 1 分, 共 20 分)

1. 能进行攀移的位错可能是_____。

- a. 弗兰克位错 b. 肖克莱位错 c. 螺型全位错
2. 对 Fe-Cr-C 三元合金进行渗碳的反应扩散, 则该合金中不能出现____。
 - a. 单相区 b. 两相区 c. 三相区
3. FCC、BCC、HCP 三种晶体结构的材料中, 塑性形变时最容易生成孪晶的是____。
 - a. FCC b. BCC c. HCP
4. 如下说法哪个是正确的, ____。
 - a. 形成点缺陷所引起的熵的变化使晶体能量增加
 - b. 晶体总是倾向于降低点缺陷的浓度
 - c. 当点缺陷浓度达到平衡值时, 晶体自由能最低
5. 两根具有反向柏氏矢量的刃型位错在被一个原子面相隔的两个平行滑移面上相向运动以后, 在相遇处____。
 - a. 相互抵消 b. 形成一排间隙原子 c. 形成一排空位
6. 在一块晶体中有一刃型位错 P 和一根相同长度的螺型位错 Q, 且这两根位错线的柏氏矢量相同, 则两者的能量大小关系为____。
 - a. $E_P > E_Q$ b. $E_P < E_Q$ c. $E_P = E_Q$
7. A 和 A-B 合金焊合后发生柯肯达尔效应, 测得界面向 A 试样方向移动, 则____。
 - a. A 组元的扩散速率大于 B 组元 b. A 组元的扩散速率小于 B 组元
 - c. A、B 组元的扩散速率相同
8. 位错运动方向处处垂直于位错线, 在运动过程中是可变的, 晶体作相对滑动的方向____。
 - a. 随位错线运动方向而改变 b. 始终是柏氏矢量方向 c. 始终是外力的方向
9. 假如相邻晶粒位向差 $\theta = 1^\circ$ 的小角对称倾侧晶界, 刃型位错的 $b = 0.25\text{nm}$, 则位错间距为约____ nm。
 - a. 8 b. 14 c. 25
10. 位错线张力是以单位长度位错线能量来表示, 则一定长度位错的线张力具有____量纲。
 - a. 长度的 b. 力的 c. 能量的
11. 位错线上的割阶一般通过____形成。
 - a. 位错的交割 b. 交滑移 c. 孪生
12. 界面能最低的相界面是____。
 - a. 孪晶界 b. 共格界面 c. 小角度晶界
13. 在单相组织中存在着大小不等的晶粒, 在长大过程中会发生____。
 - a. 小晶粒将移向大晶粒一方, 直至晶粒大小相等
 - b. 界面将移向小晶粒一方, 最后小晶粒将消失
 - c. 大小晶粒借吞并相邻晶粒同时长大
14. 退火孪晶出现的概率与晶体的层错能的关系为____。
 - a. 层错能低的晶体出现退火孪晶的概率高
 - b. 层错能高的晶体出现退火孪晶的概率高
 - c. 无关, 只与退火温度和时间有关
15. 影响扩散系数的变化有多种因素, 其中____。
 - a. 溶质原子的熔点越高, 其在固溶体中的扩散系数越小
 - b. 溶质原子在元素周期表中离溶剂原子越近, 扩散系数越大
 - c. γ -铁的自扩散系数大于 α -铁的自扩散系数

16. 单晶体的临界分切应力与____有关。
 - a. 外力相对于滑移系的取向
 - b. 拉伸时的屈服应力
 - c. 金属的类型与纯度
17. 在室温下经轧制变形 50% 的高纯铅的显微组织为____。
 - a. 沿轧制方向伸长的晶粒
 - b. 纤维状晶粒
 - c. 等轴状晶粒
18. 在金相试样表面上几组交叉滑移线的产生是由于____。
 - a. 交滑移
 - b. 多系滑移
 - c. 单滑移
19. 强化金属材料的各种手段的出发点都在于____。
 - a. 制造无缺陷的晶体或设置位错运动的阻碍
 - b. 使位错增殖
 - c. 使位错适当地减少
20. 既能提高金属的强度，又能降低其脆性的手段是____。
 - a. 加工硬化
 - b. 固溶强化
 - c. 细晶强化

二、简答题（1, 2 题各 3 分，其余每题 4 分，共 30 分）

1. 胞状亚结构的形成条件是什么？
2. 简述过饱和点缺陷产生的方式。
3. 影响原子扩散的因素有哪些？
4. 试比较单晶锌与多晶锌的塑性变形特性。
5. 影响陶瓷晶体塑性变形能力的因素有哪些？
6. 简述可形变第二相弥散强化机制。
7. 通过哪些方法可以获得细小的再结晶组织？
8. 工业上是如何测定再结晶温度的？

三、作图题（每题 3 分，共 12 分）

1. 画出两平行正刃型位错相互作用示意图。
2. 画出低碳钢工程应力-应变曲线和真应力-真应变曲线示意图。
3. 画出温度对热塑性高聚物应力-应变行为影响的示意图。
4. 画出金属动态再结晶阶段的应力-应变曲线示意图。

四、碳原子在 800℃ 时扩散进入纯铁材料表面 0.1cm 处需要 10h，求在 900℃ 时要获得同样的碳深度需要多少时间？（碳在 γ -Fe 中扩散激活能为 137520J/mol）（10 分）

五、（15 分）某铜单晶体在外加拉伸应力作用下，首先开动的滑移系为 (111) $[\bar{1}0\bar{1}]$ 。

1. 如果滑移是由纯刃型单位位错引起的，试指出位错线的方向以及滑移时位错线运动的方向。
2. 假定拉伸轴方向为 $[001]$ ， $\sigma = 10^6 \text{ Pa}$ ，求在上述滑移面上该刃型位错所受力的方向和大小（已知 Cu 的点阵常数 $a = 0.36 \text{ nm}$ ）。
3. 已知铜单晶切变模量 $G = 4 \times 10^4 \text{ MPa}$ ，层错能 $\gamma = 0.04 \text{ J/m}^2$ ，上述纯刃型位错分解的一个肖克莱不全位错为 $\frac{a}{6} [11\bar{2}]$ ，试求该扩展位错的宽度；并讨论某些置换式元素（如 Ni）的加入对其位错运动特性的影响。

六、联系实际题（第 1 题 5 分，第 2 题 8 分）

1. 工业生产中，为防止深冲用的低碳薄钢板在冲压成型后所制得的工件表面粗糙不平，通常采用何种工艺？说明理由。
2. 950℃ 渗碳，表面碳浓度达到 0.9%，缓慢冷却后，重新加热到 800℃，继续渗碳，试分别画出在 800℃ 长时间渗碳后（碳气氛为 1.5% C）和经渗碳后缓慢冷却至室温这两种情况下试件表面至心部的组织分布，并解释形成的原因。

试 题 六

一、名词解释 (20 分, 每小题 4 分)

1. 不全位错 2. 堆垛层错 3. 带状组织 4. 多滑移 5. 再结晶温度

二、填空 (26 分, 每小题 1 分)

1. 位错有_____和_____两种基本的运动方式, 刃型位错由于有多余的_____, 因此它既能做_____运动, 也能做_____运动, 而螺型位错只能做_____运动。在常温或低温下, 位错的_____运动非常困难, 因为这种运动需要原子的_____才能发生, 显然, 升高温度可以_____这种运动。

2. 刃型位错的滑移方向与柏氏矢量_____, 与使该位错滑移的外分切应力_____; 螺型位错的滑移方向与柏氏矢量_____, 与使该位错滑移的外切应力_____。但是, 无论什么位错在外应力作用下滑移时, 其运动方向总是与位错线_____, 就好像在位错线上作用一个力, 它的大小与_____及_____成正比, 并指向晶体的_____区。

3. 面心立方金属中的肖克莱不全位错的柏氏矢量与位错所在的层错面_____, 因此该位错只能是层错面上的直线或二维曲线, 根据柏氏矢量与位错线间的关系, 它既可以是_____位错或_____位错, 也可以是_____位错, 肖克莱不全位错可以做_____运动, 不能做_____运动。

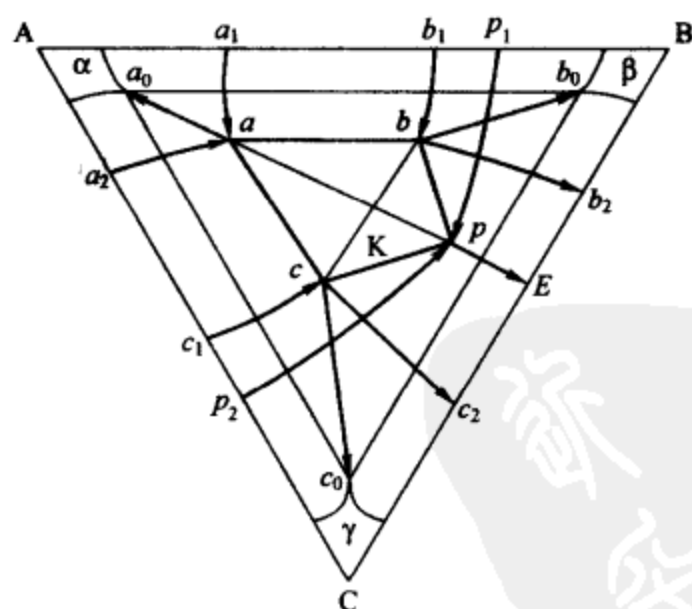
4. 冷变形金属的再结晶虽然是_____与_____过程, 但是在这个过程中, 金属的_____不变化。

三、试论多晶体纯金属的冷塑性变形过程及其强化机理。(15 分)

四、根据位错滑移模型解释, 为什么金属的实际屈服强度比理论屈服强度低得多。(9 分)

五、解释冷变形金属在回复及再结晶过程中的内应力以及力学性能的变化。(10 分)

六、下图为三元包共晶相图的投影图, 试分析合金 K 的平衡结晶过程, 说明该合金的室温平衡组织。(12 分)



试 题 七

一、名词解释 (20 分, 每小题 4 分)

1. 扩展位错 2. 冷加工纤维组织 3. 再结晶 4. 成分过冷 5. 上坡扩散

二、填空 (35 分, 每空 1 分)

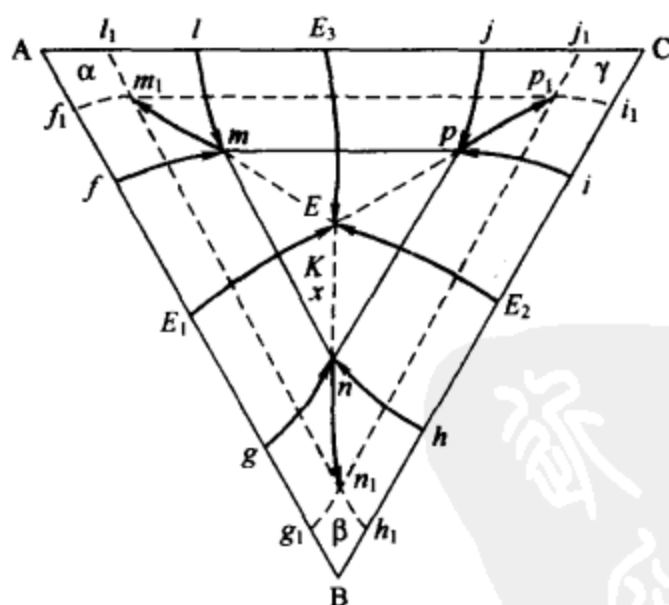
1. 晶体的短路扩散主要指_____、_____和_____。
2. 金属铸锭的组织从表面到心部一般为_____、_____、_____三个晶区所组成。
3. 螺型位错的应力场只有_____应力分量, 无_____应力分量; 刃型位错的应力场既有_____应力分量, 又有_____应力分量。
4. 外力作用在位错线上的力始终指向位错线的_____方向, 其大小与位错的_____成正比, 而位错的弹性应变能与位错的_____成正比。
5. 不全位错是_____的边界线, 面心立方金属中的肖克莱不全位错可以在滑移面上做_____运动, 不能做_____运动; 弗兰克不全位错只能在层错面上做_____运动, 不能做_____运动, _____运动导致层错区的扩大或缩小。
6. _____位错不能发生交滑移, 但可以在正应力的作用下发生_____运动, 扩展位错在交滑移前必须先发生_____。
7. 金属在常温或低温下的主要塑性变形方式是_____, 其次是_____。位错的滑移方向总是指向_____方向, 位错的滑移面是_____与_____决定的平面, 只有那些位错的滑移面与晶体的_____面一致的位错才能做滑移运动。
8. 再结晶的驱动力是_____, 再结晶完成后的晶粒长大的驱动力是_____。金属在高温下塑性变形时会发生_____或_____。
9. 三元合金相图中的四相平衡水平面与单相区交成_____, 与两相区交成_____, 与三相区交成_____。

三、试说明弥散型合金冷塑性变形强化的机制。(12 分)

四、试说明再结晶晶界弓出形核的机制。(10 分)

五、试说明高温回复阶段位错组态的变化。(8 分)

六、三元共晶相图的投影图如图所示, 试说明合金 K 的平衡结晶过程, 并写出该合金的室温平衡组织。(15 分)



试 题 八

一、名词解释 (20 分, 每小题 4 分)

1. 晶体结构
2. 晶体致密度
3. 同素异构转变
4. 单位位错
5. 位错的交滑移

二、填空 (35 分, 每空 1 分)

1. 面心立方晶体结构的单位晶胞中含有_____个原子, 原子半径为_____, 致密度为_____, 最密排的晶面族指数为_____, 若考虑一个晶面有两个相反的法线方向, 该晶面族应该由_____个晶面组成, 现在用它们围成一个八面体间隙, 该八面体所有棱边的晶向族指数为_____, 若考虑一个晶向有两个相反的方向, 该晶向族应该由_____个晶向组成, 在每个晶胞中含有_____个八面体间隙, 其数目是四面体间隙数的_____倍, 其尺寸比四面体间隙的_____。

2. 通常将位错线上尺寸只有几个原子间距的小曲折线段分别称为割阶和扭折, 若该曲折线段在原位错的滑移面上称它为_____, 当原位错为螺型时, 它为_____型, 当原位错为刃型时, 它为_____型, 它_____原位错的滑移; 若该曲折线段不在原位错的滑移面上称它为_____, 它总为_____型, 并且一般_____原位错的滑移。

3. 螺型位错的柏氏矢量与位错线_____, 按 Frank 采用的方法, 位错线与柏氏矢量同向的为_____螺型位错, 反向的为_____螺型位错, 根据柏氏矢量和位错线的关系, 该位错线_____为曲线, 但刃型位错的位错线_____为曲线。

4. 位错的滑移面是由_____和_____决定的平面, 刃型位错的滑移面有_____个, 螺型位错的滑移面理论上_____有_____个, 刃型位错既可以做_____运动, 又可以做_____运动, 但不能进行_____运动, 其易动性比螺型位错的_____。

5. 不全位错是_____与_____不相等的位错, 其位错线为晶体中的_____区和_____区的交界线, 在通常情况下, 不全位错_____单独滑移。

三、试用金属键的特点, 解释金属为什么具有良好的导热性、导电性和塑性。(8 分)

四、试比较说明间隙相和间隙化合物的组成、结构及性能特点。(8 分)

五、简述小角度晶界与大角度晶界的结构。(5 分)

六、为什么说面角位错 (Lomer-Cottrell 位错) 是稳定性最大的固定位错?(8 分)

七、简述位错反应的条件。无外力作用时, 位错反应 $\frac{a}{2}[101] + \frac{a}{2}[10\bar{1}] \rightarrow a[100]$ 能否进行?(8 分)

八、为什么两条运动的柏氏矢量相互垂直的螺型位错交割后产生的割阶会阻碍螺型位错的滑移运动?(8 分)

试 题 九

一、单选题 (每题 2 分, 共 32 分)

1. 下列说法不正确的是:

- a. 一个位错环不可能处处是刃位错, 也不可能处处都是螺位错
- b. 若将位错线正向定义为原来的反向, 则螺位错旋向不变, 但是刃位错正负反向
- c. 尽管扩展位错间通常都夹有一片层错区, 但扩展位错是线缺陷
- d. 晶体中的柏氏矢量通常不是任意的, 而是点阵的平移矢量, 这是由晶体的不连续性决定的

2. 金属镁的单晶体处于软取向时塑变量可达 $100\% \sim 200\%$ ，但其多晶体的塑性很差，其主要原因是：

- a. 镁多晶体晶粒通常较粗大 b. 镁多晶体通常存在裂纹
- c. 镁滑移系通常较少 d. 因为镁是 BCC 结构，所以脆性大

3. 层错和不完全位错之间的关系是：

- a. 层错和不完全位错交替出现
- b. 层错和不完全位错能量相同
- c. 层错能越高，不完全位错柏氏矢量的模越小
- d. 不完全位错总是出现在层错和完整晶体的交界处

4. 位错交割后原来的位错线成为折线，若：

- a. 折线和原来的位错线柏氏矢量相同，则称之为扭折，否则称之为割阶
- b. 折线和原来的位错线柏氏矢量不同，则称之为扭折，否则称之为割阶
- c. 折线在原来的滑移面上，则称之为扭折；折线和原来的滑移面垂直称之为割阶
- d. 折线在原来的滑移面上，则称之为割阶；折线和原来的滑移面垂直称之为扭折

5. 在晶体滑移过程中：

- a. 由于位错不断移出滑移面，位错密度随形变量的增加而减少
- b. 由于位错的增殖，位错密度随形变量的增加而增高
- c. 由于晶界不断吸收位错，位错密度随形变量的增加而减少
- d. 由于位错的消失（移出滑移面）和增殖的共同作用，位错的密度基本不变

6. 再结晶过程包含晶粒的形核与长大：

- a. 形核与长大的驱动力都来源于形变储存能
- b. 形核与长大的驱动力都来源于晶界能
- c. 形核的驱动力来源于储存能，长大的驱动力来源于晶界能
- d. 形核的驱动力来源于晶界能，长大的驱动力来源于储存能

7. 原子扩散过程的驱动力是：

- a. 组元的浓度梯度 b. 组元的化学势梯度
- c. 扩散的温度 d. 扩散的时间

8. 冷变形使金属中产生大量的空位、位错等晶体缺陷，对置换固溶体中的扩散过程而言，这些缺陷的存在将导致：

- a. 阻碍原子的移动，减慢扩散过程 b. 对扩散过程无影响
- c. 有时会加速扩散，有时会减弱扩散 d. 加速原子的扩散过程

9. 单晶体的临界分切应力值与____有关。

- a. 外力相对于滑移系的取向 b. 拉伸时的屈服应力
- c. 晶体的类型和纯度 d. 拉伸时的应变大小

10. 在____的情况下，再结晶后若在更高温度保温还可能发生异常晶粒长大

- a. 金属在临界变形量进行冷变形
- b. 冷变形金属中存在着弥散分布的第二相微粒
- c. 冷变形前的原始晶粒粗大
- d. 冷变形金属纯度非常高

11. 14 种布拉菲点阵：

- a. 按其对称性分类，可归结为七大晶系
- b. 按其点阵常数分类，可归纳为七大晶系

- c. 按阵点所在位置分, 可归纳为七大晶系
d. 按其几何形状分类, 可归结为七大晶系
12. 如果某一晶体中若干晶面同属于某一晶带, 则:
a. 这些晶面必定是同族晶面 b. 这些晶面必定相互平行
c. 这些晶面上原子排列相同 d. 这些晶面之间的交线相互平行
13. 与 (113) 和 (112) 同属一晶带的有:
a. $(1\bar{1}2)$ b. $(\bar{2}21)$ c. (110) d. (211)
14. 晶体点阵的对称性越高, 则:
a. 独立的点阵常数越少 b. 晶体中原子排列越紧密
c. 晶胞中原子越多 d. 晶体结构越复杂
15. 拓扑密排与几何密排相比:
a. 几何密排的配位数高, 致密度大 b. 几何密排的配位数高, 致密度小
c. 拓扑密排的配位数高, 致密度大 d. 拓扑密排的配位数高, 致密度小
16. TiC 和 CaO 都具有 NaCl 型结构, 但:
a. TiC 属离子晶体, CaO 属共价晶体 b. TiC 属共价晶体, CaO 属离子晶体
c. TiC 属间隙化合物, CaO 属离子晶体 d. TiC 属间隙相, CaO 属离子晶体

二、名词解释 (15 分)

1. 攀移 2. 交滑移 3. 上坡扩散 4. 再结晶织构 5. 桥氧

三、什么是全位错及不全位错? 为什么面心立方晶体中的全位错 $\frac{a}{2} [\bar{1}10]$ 可以分解成

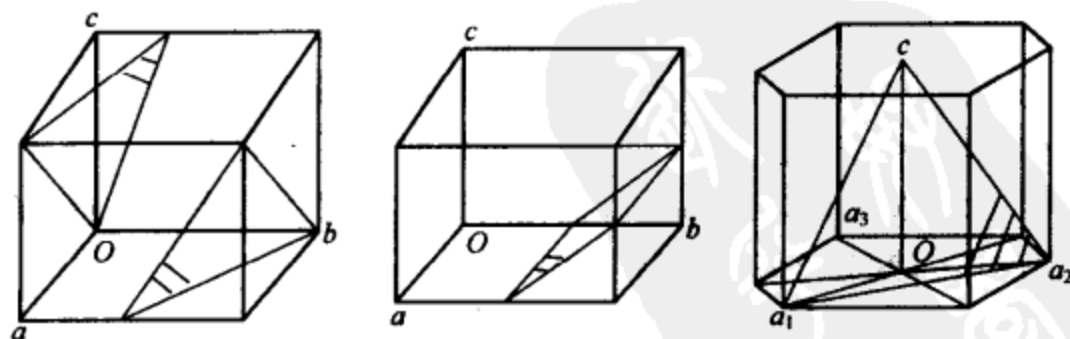
两个不全位错 $\frac{a}{6} [\bar{1}2\bar{1}]$ 及 $\frac{a}{6} [\bar{2}11]$, 试从几何条件和能量条件两个方面予以说明。(6 分)

四、通常强化金属材料的方法有哪些? 试述它们强化金属的微观机理, 并指出其共同点。(10 分)

五、对钢铁进行渗碳处理可以提高其表面含碳量, 通常渗碳在奥氏体状态下进行还是在铁素体状态下进行? (提示: 碳在奥氏体状态下的最大溶解度约 2.1%, 在铁素体状态下为 0.02%; 相同温度下, 碳在奥氏体中的扩散系数小于在铁素体中的扩散系数) (7 分)

六、划痕、滑移线、复滑移线、交滑移线、形变孪晶、退火孪晶的金相形貌各有何特征? 试用图示说明。(12 分)

七、写出下列晶面指数。(8 分)



八、(10 分) (1) 在立方晶系的 (001) 投影面上画出 $\{001\}$ 、 $\{011\}$ 和 $\{111\}$ 晶面族中所有晶面的极射赤面投影, 并标出每个投影面的投影。

(2) 用转换投影面的方法在立方晶系的 (101) 投影面上画出 (010)、 $(0\bar{1}0)$ 、(110) 和 (111) 面的极射赤面投影。

试 题 十

一、单选题（每题 2 分，共 32 分）

1. 引入空间点阵概念是为了：
 - a. 描述原子在晶胞中的位置
 - b. 描述晶体的对称性
 - c. 描述晶体结构的周期性
 - d. 同时描述晶体结构的周期性和对称性
2. A, B 两晶体, 如果:
 - a. 所属的空间点阵相同, 则此两晶体的结构相同
 - b. 晶体结构相同, 它们所属的空间点阵可能不同
 - c. 晶体结构相同, 它们所属的空间点阵必然相同
 - d. 所属的空间点阵不同, 两晶体的结构可能相同
3. 体心立方 (BCC) 晶体中间隙半径比面心立方 (FCC) 中的小, 但 BCC 的致密度却比 FCC 低, 这是因为:
 - a. BCC 中原子半径小
 - b. BCC 中的密排方向 $\langle 111 \rangle$ 上的原子排列比 FCC 密排方向上的原子排列松散
 - c. BCC 中的原子密排面 $\{110\}$ 的数量太少
 - d. BCC 中原子的配位数比 FCC 中原子配位数低
4. 组成固溶体的两组元完全互溶的条件是:
 - a. 两组元的电子浓度相同
 - b. 两组元的晶体结构相同
 - c. 两组元的原子半径相同
 - d. 两组元电负性相同
5. 在 (001) 标准投影图上 (立方晶系), A、B、C 三晶面同在北纬 30° 的纬线上, 则:
 - a. 三晶面同属一晶带
 - b. 三晶面和 (100) 晶面的夹角相等
 - c. 三晶面同属一晶面族
 - d. 三晶面和 (001) 晶面的夹角相等
6. 离子晶体和纯金属晶体各有配位数的概念, 两者的含义:
 - a. 完全相同
 - b. 不同, 离子晶体的配位数是指最邻近的同号离子数, 而纯金属的配位数是指最邻近的原子数
 - c. 不同, 离子晶体的配位数是指最邻近的异号离子数, 而纯金属的配位数是指最邻近的原子数
 - d. 不同, 离子晶体的配位数是指最邻近的异号离子数, 而纯金属的配位数是指最邻近和次邻近的原子数之和
7. 在 (111) 面上运动的柏氏矢量为 $\frac{a}{2}[\bar{1}10]$ 的螺位错受阻时, 能通过交滑移转移到下列哪一滑移面继续运动?
 - a. $(1\bar{1}1)$
 - b. $(\bar{1}11)$
 - c. $(11\bar{1})$
 - d. $(1\bar{1}\bar{1})$
8. 有两根同向右螺位错线, 各自的能量都为 E , 当它们无限靠近时, 总能量为:
 - a. $2E$
 - b. 0
 - c. $4E$
 - d. E
9. 在理想的热力学平衡态, 下列哪类缺陷是不应存在的:
 - a. 空位、晶界
 - b. 位错、晶界
 - c. 空位、位错
 - d. 空位、位错、晶界
10. 某 FCC 单晶体塑变时出现两组平行的交叉的滑移线, 则塑变处于:
 - a. 易滑移阶段
 - b. 线性硬化阶段
 - c. 动态回复阶段
 - d. 抛物线硬化阶段

11. 铁可在某一相同的温度下渗碳或渗铬，一般来说：

- a. 渗碳速度比渗铬快 b. 渗铬速度比渗碳快
- c. 渗碳速度与渗铬差不多 d. 不好说

12. 下列过程与晶体中空位迁移过程关系不大的是：

- a. 形变孪晶 b. 自扩散 c. 回复 d. 位错攀移

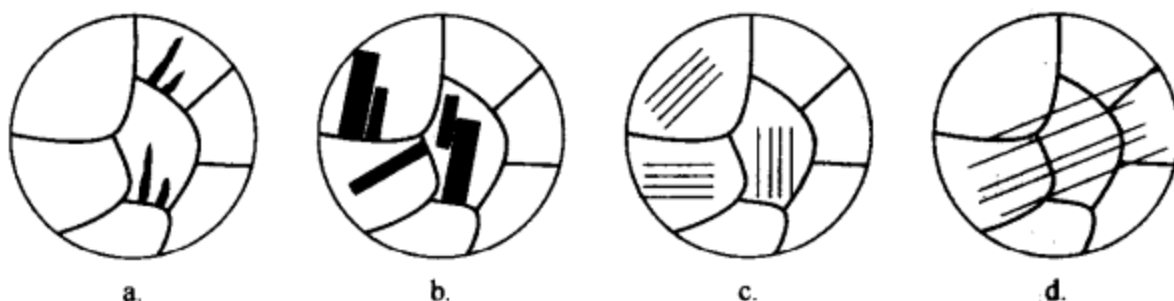
13. 形变再结晶后，若在更高的温度下保温，某些金属材料中会发生异常晶粒长大（二次再结晶），最后获得的组织非常粗大，这是因为材料：

- a. 临界形变量变形的结果 b. 形变前原始晶粒粗大
- c. 含有固溶合金元素 d. 存在弥散分布的细小第二相颗粒

14. 下列有关固体中扩散的说法中，正确的是：

- a. 原子扩散的驱动力是存在着浓度梯度
- b. 空位扩散是指间隙固溶体中溶质原子从一个空位间隙跳到另一个空位间隙
- c. 晶界上点阵畸变较大，因而原子迁移阻力较大，所以比晶内的扩散系数要小
- d. 成分均匀的材料中也存在着扩散

15. 下列形貌中，对应形变孪晶的是：



16. 若欲通过形变和再结晶方法获得细晶粒组织，应避免：

- a. 在临界形变量进行塑性变形加工 b. 大变形量
- c. 较长的退火时间 d. 较高的退火温度

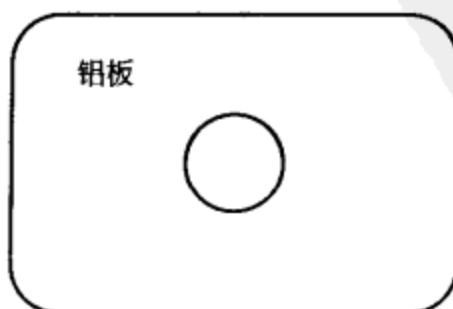
二、名词解释（15分）

- 1. 扩展位错 2. 形变织构 3. 柯肯达尔效应 4. 多边化 5. 拓扑密堆相
- 6. 电子浓度

三、单位位错 $\frac{a}{2} [\bar{1}10]$ 能否与肖克莱不全位错 $\frac{a}{6} [12\bar{1}]$ 相结合形成弗兰克不全位错？若能，写出新生成的弗兰克不全位错的柏氏矢量；若不能，给出理由。这个位错为什么称固定位错？（6分）

四、试述孪生与滑移的异同，比较它们在塑变过程中的作用。（8分）

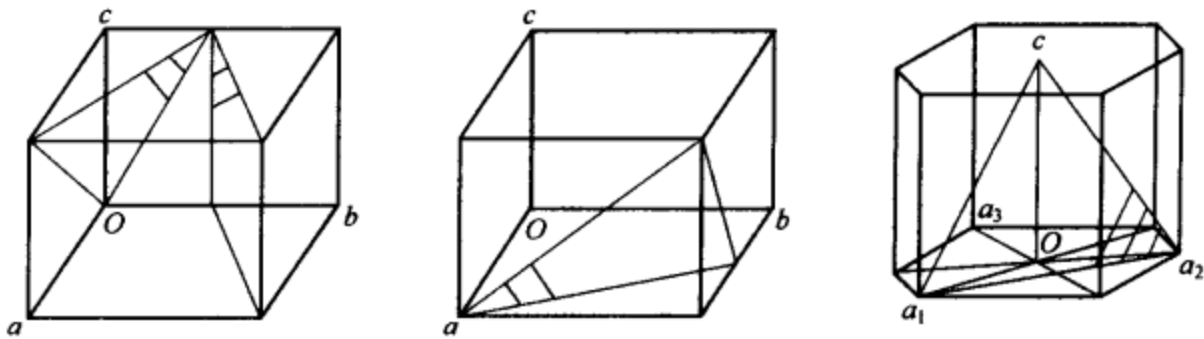
五、有一方形纯铝板零件（假设为等轴多晶组织），加工时在其中部冷冲出一如图所示的小圆孔。当该零件进行再结晶退火处理后，小孔周围的组织形貌将发生怎样的变化，用示意图表示，并进行适当的解释。（11分）



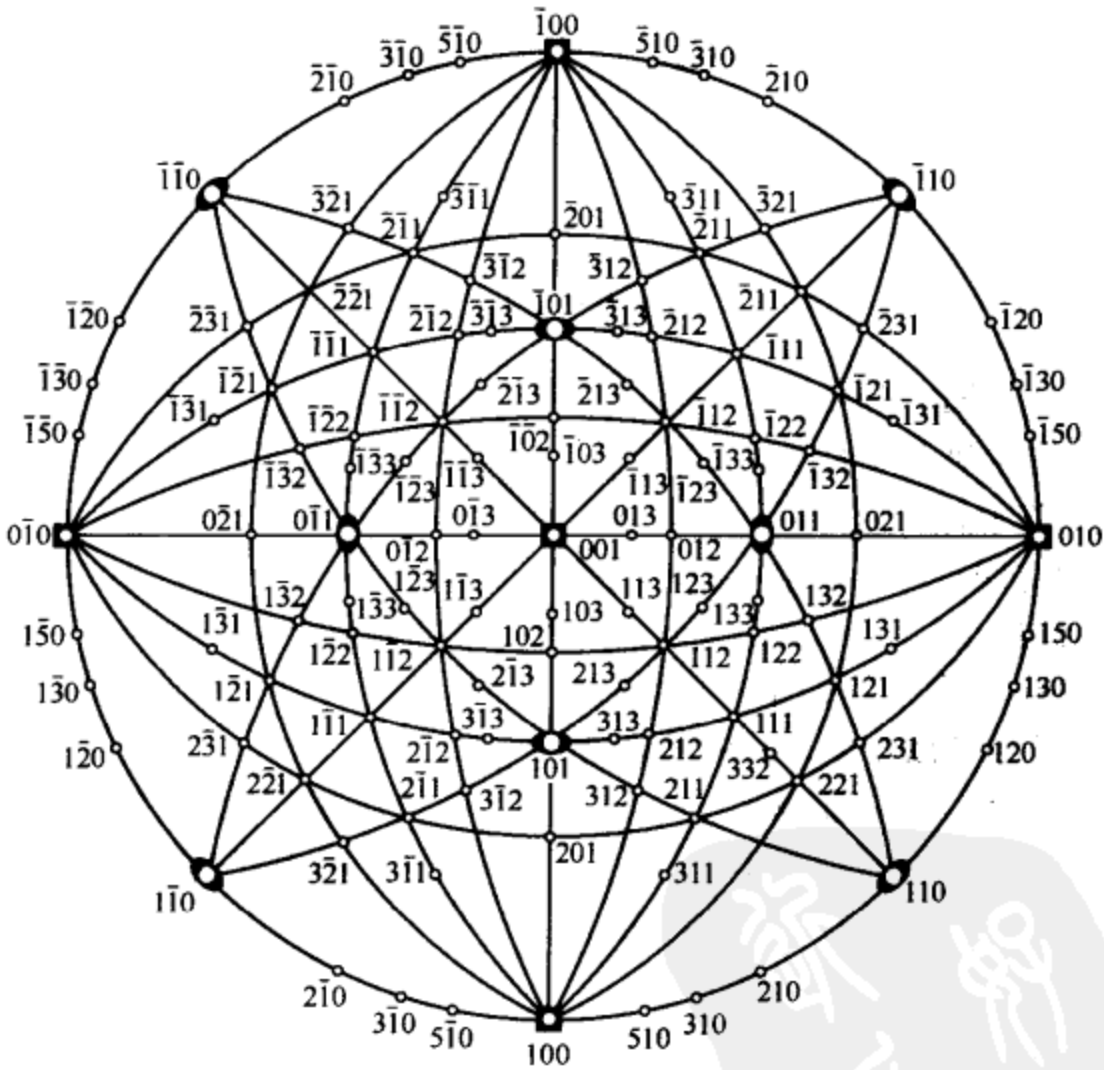
六、(10 分) 氢在金属中扩散极快，当温度较高、压强较大时，用金属容器储存氢气极易渗漏。

1. 列出稳定状态下金属容器中的高压氢通过器壁的扩散方程。
2. 说明式中各项的含义。
3. 提出减少氢扩散逸失的措施。

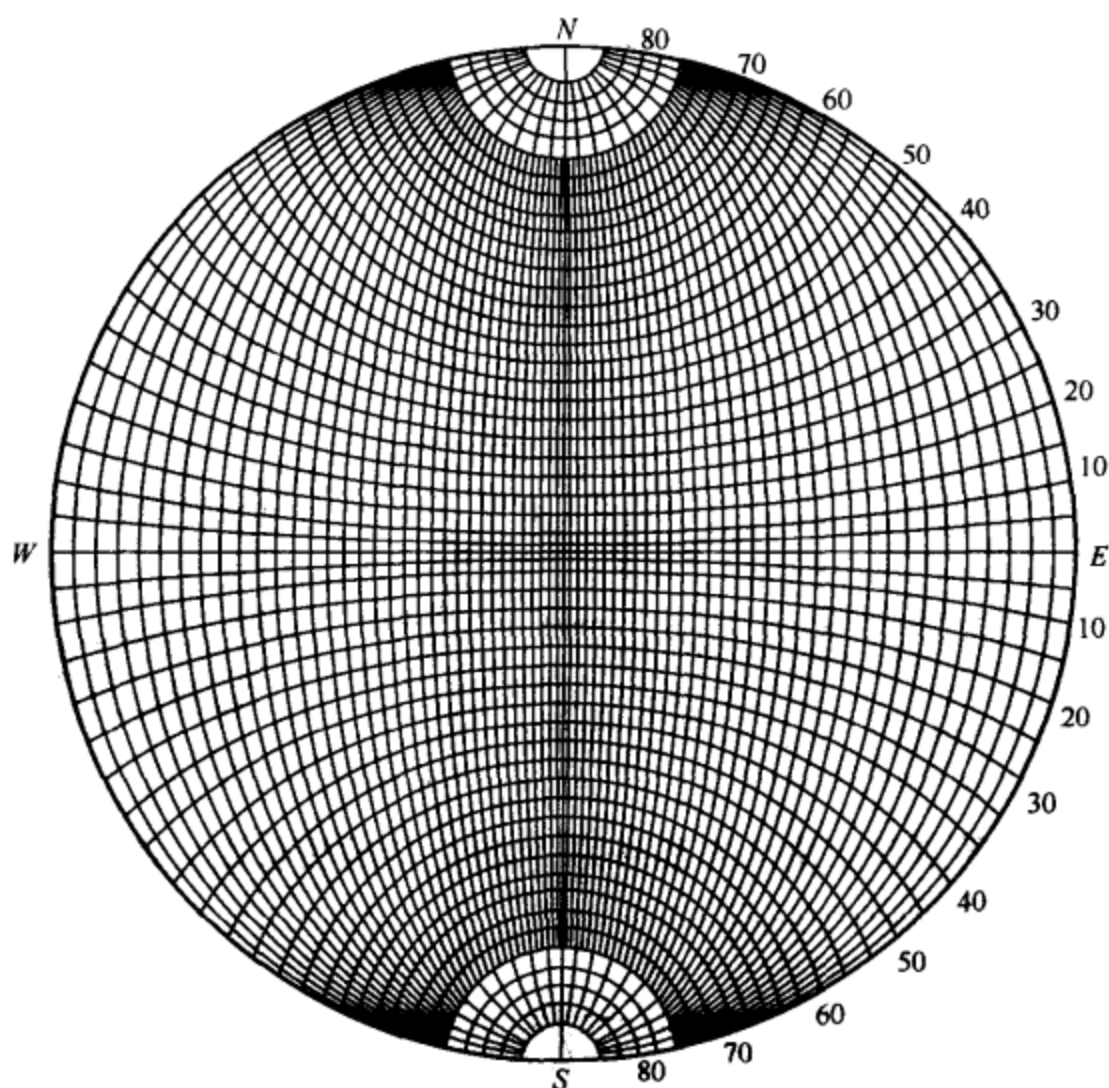
七、写出下列各图中标的各晶面的晶面指数。(8 分)



八、(10 分) 下图所示的是立方晶系的 (001) 标准投影图，请解以下问题：



1. 用吴氏网求出 $(\bar{2}31)$ 和 (211) 两晶面之间的夹角；
2. 用吴氏网求出 (101) 与 (011) 晶面所在的、晶带的晶带轴的晶向指数，并在图上标出；
3. 将 (001) 投影上的 $(\bar{1}10)$ 、 (021) 、 $(1\bar{1}0)$ 和 (101) 晶面转换到 (110) 标准投影图上。

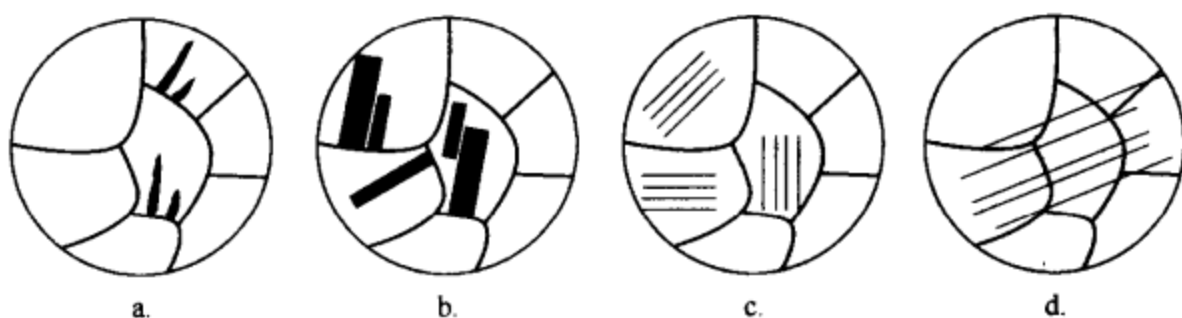


试题十一

一、单选题（每题 2 分，共 40 分）

- 晶体结构和空间点阵的相互关系____。
 - 空间点阵中每一个阵点代表晶体中的一个原子
 - 每一种空间点阵代表唯一的一种晶体结构
 - 晶体结构一定，它所属的空间点阵也唯一地被确定
 - 每一种晶体结构可以用不同的空间点阵表示
- 晶体中配位数和致密度之间的关系是____。
 - 配位数越大，致密度越大
 - 配位数越小，致密度越大
 - 配位数越大，致密度越小
 - 两者之间无直接联系
- 间隙相和间隙固溶体的区别之一是____。
 - 间隙相结构比间隙固溶体简单
 - 间隙相的间隙原子比间隙固溶体中的间隙原子大
 - 间隙相的固溶度比间隙固溶体大
 - 间隙相的结构和其组元的结构不同
- 六方晶系中和 $(11\bar{2}1)$ 晶面等价的晶面（同族晶面）是____。
 - $(1\bar{2}11)$ 面
 - $(111\bar{2})$ 面
 - $(12\bar{1}1)$ 面
 - $(21\bar{1}1)$ 面
- 在离子晶体中____。
 - 阳离子半径大于阴离子半径

- b. 阴离子半径大于阳离子半径
c. 阳离子半径与阴离子半径相等
d. 阳离子半径可以大于阴离子半径，也可以小于阴离子半径
6. 硅氧四面体中的氧离子_____。
a. 只属于一个硅氧四面体 b. 可以被多个硅氧四面体共用
c. 只能被两个硅氧四面体共用 d. 可以被四个硅氧四面体共用
7. 若晶体在两个滑移系之间能实现交滑移，则这两个滑移系_____。
a. 滑移面相同，滑移方向不同 b. 滑移方向相同，滑移面不同
c. 滑移面和滑移方向都不同 d. 滑移面和滑移方向都相同
8. 某 FCC 单晶体塑变时出现一组平行的滑移线，则塑变处于_____。
a. 易滑移阶段 b. 线性硬化阶段 c. 动态回复阶段 d. 抛物线硬化阶段
9. 下列各图为金相显微镜所观察的形貌，其中对应退火孪晶的是_____。



10. 经过冷塑性形变和再结晶过程，在下列何种情况下必定会得到粗大的晶粒组织是_____。
a. 在临界形变量进行塑性变形加工 b. 大变形量
c. 较长的退火时间 d. 较高的退火温度
11. 单晶体的临界分切应力值与_____有关。
a. 外力相对滑移系的取向 b. 拉伸时的屈服应力
c. 晶体的类型和纯度 d. 拉伸时的应变大小
12. 对面心立方晶体而言，表面能最低的晶面是_____。
a. (100) b. (110) c. (111) d. (121)
13. 金属镁的单晶体处于软取向时塑变量可达 100%~200%，但其多晶体的塑性很差，其主要原因是_____。
a. 其多晶体晶粒通常较粗大 b. 其多晶体通常存在裂纹
c. 其独立滑移系通常较少 d. 因为 Mg 是 BCC 结构，所以脆性大
14. 层错和不完全位错之间的关系是_____。
a. 层错和不完全位错交替出现
b. 层错和不完全位错能量相同
c. 层错能越高，不完全位错柏氏矢量的模越小
d. 不完全位错总是出现在层错和完整晶体的交界处
15. 下列有关金属弹性变形的说法中，不对的是_____。
a. 它是可逆的，即去掉外力后变形就消失
b. 应力与应变之间呈线性关系
c. 弹性变形量的数值一般都较大
d. 单晶体的弹性模量是各向异性的

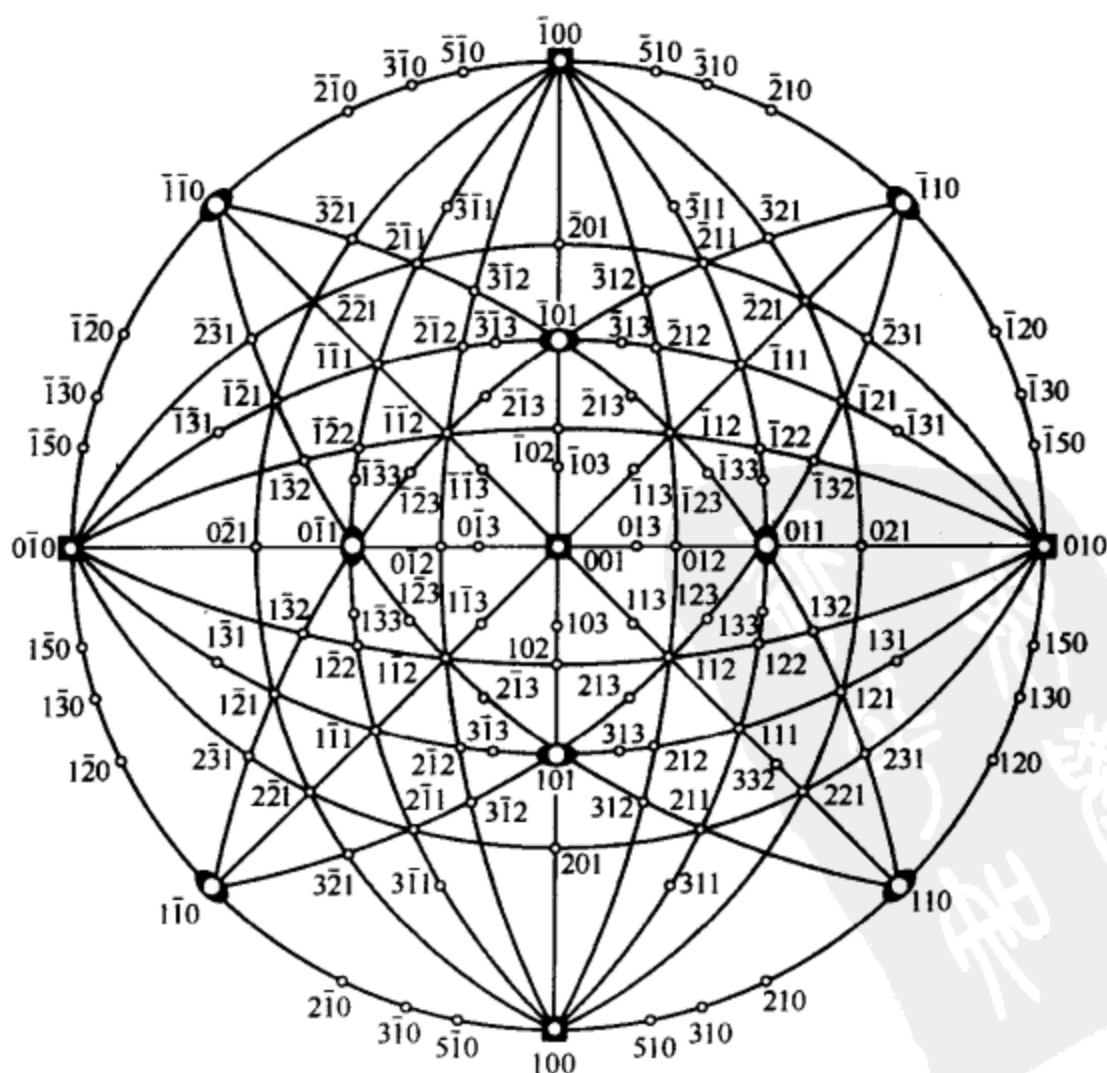
16. 下列说法不正确的是_____。
- 一个位错环不可能处处都是刃位错，也不可能处处都是螺位错
 - 若将位错线正向定义为原来的反向，则螺位错旋向不变，但是刃位错正负反向
 - 尽管扩展位错间通常都夹有一片层错区，但扩展位错是线缺陷
 - 晶体中的柏氏矢量通常不是任意的，而是点阵的平移矢量，这是由晶体的不连续性决定的
17. 在理想的热力学平衡态，下列哪类缺陷是不应存在的_____。
- 空位、晶界
 - 位错、晶界
 - 空位、位错
 - 空位、位错、晶界
18. 再结晶过程包含晶粒的形核与长大，_____。
- 形核与长大的驱动力都来源于形变储存能
 - 形核与长大的驱动力都来源于晶界能
 - 形核的驱动力来源于形变储存能，长大的驱动力来源于晶界能
 - 形核与长大的驱动力都来源于外部加热所提供的能量
19. 经冷变形后的金属在回复过程中，位错会发生_____。
- 增殖
 - 大量消失
 - 部分重排
 - 无变化
20. 位错上的割阶是在_____过程中形成的。
- 交滑移
 - 复滑移
 - 孪生
 - 交割

二、作图题（注：作图时必须在晶胞中标出基矢 a , b , c ）（8 分）

- 在立方晶胞中画出以下晶面： (021) ， $(\bar{2}\bar{3}1)$ 。
- 在立方晶胞中画出 $[\bar{2}10]$ 晶向。
- 在六方晶胞中画出 $(\bar{1}2\bar{1}2)$ 晶面。

三、回答以下关于极射赤面投影的问题（10 分）

- 在如图所示的立方晶系 (001) 标准投影图中，列举出 2 个与 (101) 及 (011) 晶面



同属一个晶带的晶面。

2. 这个晶带的晶带轴在什么位置（在图上标出）？写出这个晶带轴的晶向指数。

3. $(1\bar{3}2)$ 是否也属于这个晶带？为什么？

4. 投影图赤道上的晶面是否属于一个晶带？为什么？如果属于同一晶带，写出该晶带晶带轴的晶向指数。

5. 投影图基圆上的点属于哪个晶带？用晶向指数表示该晶带的晶带轴。

四、MgSe、TiC、CaO 都是 B1(NaCl) 结构，为什么这三种材料分别称之为正常价混合物、间隙相和离子晶体。请说出它们的主要区别。（5 分）

五、试分析在面心立方金属中（点阵常数为 a ），下列位错反应能否进行，并指出这些位错各属什么类型？反应后生成的新位错能否在滑移面上运动：（8 分）

$$\frac{a}{2}[101] + \frac{a}{6}[\bar{1}2\bar{1}] \longrightarrow \frac{a}{3}[111]$$

六、铜是工业上常用的一种金属材料，具有导电率高和耐腐蚀性好等优点，但是纯铜的强度较低，经常难以满足要求，根据你所学的知识，提出几种强化铜合金的方法，并说明其强化机理。（12 分）

七、（9 分）假定某面心立方晶体中的活动滑移系为 $(111)[\bar{1}10]$ ：

1. 给出引起滑移的单位位错的柏氏矢量，加以说明。

2. 若引起此滑移的为刃型位错，指明位错线方向及其滑移方向。

3. 若引起此滑移的为螺型位错，指明位错线方向及其滑移方向。

八、将经过大量冷塑性变形（例如 70% 以上）的纯铜长棒的一端浸入冰水中，另一端加热至接近熔点的高温（例如 $0.9T_m$ ），过程持续进行 1h，然后试样完全冷却，试作沿棒长度的硬度分布曲线（示意图），并作简要说明。（8 分）



解 析

试题一解析

一、单选题 (每题 1 分, 共 10 分)

1. b 2. c 3. a 4. c 5. a 6. a 7. a 8. a 9. c 10. c

二、判断题 (正确的打√, 错误的打×, 每题 1 分, 共 10 分)

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

三、1. 答: 晶体学条件 $\frac{a}{2}[10\bar{1}] + \frac{a}{2}[011] \rightarrow \frac{a}{2}[110]$ (2 分)

能量条件

$$\sum b_{\text{反应前}}^2 = \left(\frac{a}{2}\right)^2 (\sqrt{1^2+1^2})^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 (\sqrt{1^2+1^2})^2 = \frac{a^2}{2} + \frac{a^2}{2} = a^2$$

$$\sum b_{\text{反应后}}^2 = \left(\frac{a}{2}\right)^2 (\sqrt{1^2+1^2})^2 = \frac{a^2}{2}$$

$$\sum b_{\text{反应前}} > \sum b_{\text{反应后}} \quad (2 \text{ 分})$$

根据上面两个条件, 可判断上面反应可以进行 (1 分)。

2. 答: 单晶铝塑性变形能力具有明显的各向异性, 而多晶铝塑性变形则呈各向同性 (1 分); 单晶铝的加工硬化经过三个阶段, 分别是易滑移阶段、线性硬化阶段、抛物线型硬化阶段, 而多晶铝的应力-应变曲线没有第一阶段, 而且其硬化曲线更陡, 单晶铝的应力-应变水平低于多晶铝 (3 分)。无论是单晶铝还是多晶铝, 塑性变形过程中位错密度的增加及其所产生的钉扎作用是导致加工硬化的决定性因素 (1 分)。

3. 答: 溶质原子自浓度低处向浓度高处迁移的现象, 称上坡扩散 (2 分)。从热力学角度, 扩散是由于化学位的不同而引起的, 各组元的原子总是由高化学位区向低化学位区扩散, 扩散的真正推动力不是浓度梯度, 而是化学梯度 (3 分)。

4. 答: 在一定条件下进行热变形, 材料可能得到特别大的均匀塑性变形, 而不发生缩颈, 延伸率可达 500%~2000%, 材料的这种特性称为超塑性 (2 分)。

条件: (1) 材料本身应具有细小、等轴、稳定的复相组织 (1 分);

(2) 在 $(0.5 \sim 0.65)T_m$ 进行热变形 (1 分);

(3) 低的应变速率 $10^{-2} \sim 10^{-4} \text{ mm/s}$ (1 分)。

5. 答: 共价键键合的陶瓷, 不论是单晶体还是多晶体, 塑性变形能力差, 呈脆性 (2 分); 离子键键合的陶瓷, 对于单晶体来说, 在室温受压应力作用时可进行较多的塑性变形 (1.5 分); 对于离子键合的多晶陶瓷则是脆的, 并在晶界处形成裂纹 (1.5 分)。

6. 答: 从显微组织上观察, 静态回复时可见到清晰的亚晶界 (1 分), 静态再结晶形成等轴晶粒 (1 分); 而动态回复时形成胞状亚结构 (1 分), 动态再结晶时, 等轴晶中又形成位错缠结胞, 其组织比静态再结晶要细 (2 分)。

四、解: (1) 单位位错的 $b = \frac{a}{2}[10\bar{1}]$ 。(2 分)

因为滑移方向为该滑移系中的密排方向, 而晶体的滑移方向始终是位错的柏氏矢量方向, 故 $b = \frac{a}{2}[10\bar{1}]$ 。(2 分)

(2) 位错线位于滑移面 (111) 上, 设其法线向量为 p , 设位错线的方向为 $l[uvw]$, 则有:

$$l \times p = u \times 1 + v \times 0 + w \times 1 = 0 \Rightarrow u + v + w = 0 \quad (1 \text{ 分})$$

位错线与 b 垂直, 则有:

$$l \times b = u \times 1 + v \times 0 + w \times (-1) = 0 \Rightarrow u - w = 0 \quad (1 \text{ 分})$$

由以上两式可得 $u : v : w = 1 : \bar{2} : 1$ (1 分)。

故位错线方向为 $[1\bar{2}1]$ (1 分)。

(3) 滑移面 (111) 的法线方向 $[111]$ 和拉伸轴 $[001]$ 的夹角

$$\cos\phi = \frac{1 \times 0 + 1 \times 0 + 1 \times 1}{\sqrt{1^2 + 1^2 + 1^2} \times \sqrt{0^2 + 0^2 + 1^2}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \quad (1 \text{ 分})$$

滑移方向 $[10\bar{1}]$ 和拉力轴 $[001]$ 的夹角

$$\cos\lambda = \frac{1 \times 0 + 0 \times 0 + 1 \times 1}{\sqrt{1^2 + 0^2 + 1^2} \times \sqrt{0^2 + 0^2 + 1^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (1 \text{ 分})$$

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

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

其所受力的方向垂直于位错线, 即 $\frac{1}{2}[10\bar{1}]$ (1 分)。

五、解: $\frac{x}{\sqrt{Dt}} = \text{常数}$ 或 $x^2 = kDt$

$$\begin{aligned} \text{得} \quad x_1^2 &= kD_1 t_1 \\ x_2^2 &= kD_2 t_2 \quad (3 \text{ 分}) \end{aligned}$$

$$\text{两式相比得: } \frac{x_1^2}{x_2^2} = \frac{D_1 t_1}{D_2 t_2}$$

$$\text{又知: } D = D_0 \exp(-Q/RT) \quad (3 \text{ 分})$$

$$t_1 = t_2$$

$$\text{则} \quad \frac{x_1^2}{x_2^2} = \frac{D_1}{D_2} = \frac{D_0 e^{-\frac{Q}{RT_1}}}{D_0 e^{-\frac{Q}{RT_2}}} = e^{\frac{Q}{RT_2} - \frac{Q}{RT_1}} = e^{\frac{Q}{R}(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1})}$$

$$\frac{0.05^2}{0.10^2} = e^{\frac{145000}{8.31}(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{1203})} \quad (2 \text{ 分})$$

$$T_2 = 1330 \text{ K} = 1057^\circ \text{C} \quad (2 \text{ 分})$$

六、解: 铜单晶出现锯齿形平台是由于铜晶体孪生变形造成的 (2 分), 因为形变孪生的过程可分为形核和扩展两个阶段, 晶体变形时先是以极快的速度爆发出薄片孪晶 (常称之为形核), 然后孪晶界面扩展开来使孪晶增宽, 在一般情况下, 孪晶形核所需的应力远高于扩展所需的应力, 故当孪晶出现时就伴随以载荷突然下降的现象 (3 分), 在形变过程中孪晶不断形成, 就导致锯齿形拉伸曲线 (2 分)。低碳钢出现锯齿形平台是由于低碳钢中的碳是间隙型原子 (1 分), 它与铁素体中的位错交互作用而形成溶质原子气团, 即所谓的 Cottrell 气团, 该气团的形成使体系处于低能量的稳定状态, 因而它对位错有钉扎作用, 尤其在体心立方晶体中, 间隙溶质原子和位错的交互作用很强, 位错被牢固地钉扎住 (3 分)。在一般应力下位错不能脱钉, 故必须在更大的应力作用下才能产生新的位错或使位错脱出气

团的钉扎而移动,这就形成上屈服点(2分),而一旦挣脱后,位错的运动所需的应力没有开始的那么大,因此出现下屈服点和水平台阶(2分)。

七、解:将大变形量轧制后的工业纯铝在 100°C 放置12天后,其室温强度明显下降的原因是工业纯铝发生了再结晶(3分)。试验查得的 T_R 为 150°C 是指在1h内完成再结晶的温度(2分),而金属在大量变形后,即使在低于 T_R 的退火温度,只要保温足够的时间,同样可以发生再结晶,故该试样在 100°C 放置12天后完全有可能完成再结晶过程(2分)。

有两种方法可证明上述设想:

(a) 观察薄片试样的金相组织,如果是等轴晶粒,则可确认完成再结晶。

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

只要查得工业纯铝的再结晶激活能 Q ,将其他已知条件代入即可求得 T_2 ,若 T_2 低于 100°C ,说明在本题条件下可发生再结晶(3分)。

试题二解析

一、单选题(每题1分,共10分)

1. a 2. c 3. a 4. c 5. b 6. c 7. b 8. c 9. b 10. a

二、判断题(正确的打√,错误的打×,每题1分,共10分)

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

三、1. 答:晶体学条件 $\frac{a}{2}[10\bar{1}] + \frac{a}{6}[\bar{1}21] = \frac{3a}{6}[10\bar{1}] + \frac{a}{6}[\bar{1}21] = \frac{a}{6}[22\bar{2}] = \frac{a}{3}[11\bar{1}]$ (2分)

能量条件

$$\sum b_{\text{反应前}}^2 = \left(\frac{a}{2}\right)^2 (\sqrt{1^2+1^2})^2 + \left(\frac{a}{6}\right)^2 (\sqrt{1^2+2^2+1^2})^2 = \frac{a^2}{2} + \frac{a^2}{6} = \frac{2}{3}a^2$$

$$\sum b_{\text{反应后}}^2 = \left(\frac{a}{3}\right)^2 (\sqrt{1^2+1^2+1^2})^2 = \frac{a^2}{3}$$

$$\sum b_{\text{反应前}} > \sum b_{\text{反应后}} \quad (2 \text{分})$$

根据上面两个条件,可判断上面反应可以进行(1分)。

2. 答:(1) 单晶铜塑性变形能力呈各向异性,而多晶铜呈各向同性(1分)。

(2) 单晶铜的应力应变水平低于多晶铜,因而单晶铜易滑移,多晶铜滑移困难(2分)。

(3) 单晶铜滑移时,首先是由一组滑移系启动,而多晶铜滑移时,是多个晶粒、多个滑移系协同作用,因此单晶铜滑移有三个阶段,而多晶铜不出现第一阶段(2分)。

3. 答: 根据 $T_R = (0.35 \sim 0.45)T_m$ 可知(1分):

Fe在室温下加工为冷加工,Sn在室温下加工为热加工(2分);

因此随着弯折的进行,铁板发生加工硬化,继续变形,导致铁板断裂(1分)。

Sn板属于热加工,产生动态再结晶,弯折可不断地进行下去(1分)。

4. 答:单相合金只能通过固溶强化、形变强化等有限的方法提高强度,而且提高的幅度有限(2分),采用两相或多相合金,可以通过第二相(或更多相)来强化,改变第二相的本身性能、尺寸、形状、数量和分布都对材料性能有很大影响,因而两相或多相合金成为工程结构中广泛应用的材料。常见的有聚合型两相合金和弥散型两相合金(3分)。

5. 答:对已冷拉非晶态高聚物的试样加热到 T_g 以上,形变基本上全能恢复(2分);部分结晶高聚物冷拉后残留的形变中大部分必须升温至 T_m 附近时才能回复(2分);这是因为部分结晶高聚物的冷拉中伴随着晶片的排列与取向,而取向的晶片在 T_m 以下是热力学

稳定的 (1 分)。

6. 答: Cu-Zn 组成的互扩散偶发生扩散时, 标志面会向 Zn 一端移动 (2 分)。这是因为 $J_{Zn} > J_{Cu}$, 因此 $D_{Zn} > D_{Cu}$ (3 分)。

四、答: (1) $\frac{a}{2}[110] \rightarrow \frac{a}{6}[2\bar{1}\bar{1}] + \frac{a}{6}[121]$ (5 分)

$$(2) d = \frac{Gb_1 \times b_2}{2\pi\lambda} = \frac{48000 \times 10^6 \times \frac{a}{6} \times \frac{a}{6} [2 \times 1 + 1 \times 2 + 1 \times (-1)]}{2\pi \times 0.04 \times 10^9} = 1.43 \text{ nm} \quad (5 \text{ 分})$$

(3) 层错能越高, 扩展位错 d 越小, 越有利于扩展位错的束集; 反之, 位错束集困难 (3 分)。因此易于束集的扩展位错, 对于螺位错的交滑移运动 (1 分), 以及与其他位错的交割运动都十分有利 (1 分)。

五、 $\frac{x}{\sqrt{Dt}} = \text{常数}$ 或 $x^2 = kDt$

$$\begin{aligned} \text{得} \quad x_1^2 &= kD_1 t_1 \\ x_2^2 &= kD_2 t_2 \quad (3 \text{ 分}) \end{aligned}$$

$$\text{两式相比得: } \frac{x_1^2}{x_2^2} = \frac{D_1 t_1}{D_2 t_2}$$

$$\text{又知: } D = D_0 \exp(-Q/RT) \quad (3 \text{ 分})$$

$$t_2 = t_1 \left(\frac{x_2}{x_1} \right)^2 \frac{D_1}{D_2} = 600 \left(\frac{0.05}{0.1} \right)^2 \frac{\exp\left(\frac{-20000R}{1173R}\right)}{\exp\left(\frac{-20000R}{1073R}\right)} \quad (2 \text{ 分})$$

$$t_2 = 730 \text{ s} \quad (2 \text{ 分})$$

六、解: (1) 两晶向 $[h_1 k_1 l_1]$ 与 $[h_2 k_2 l_2]$ 的夹角

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

滑移面 $(\bar{1}11)$ 的法线方向 $[\bar{1}11]$ 和拉力轴 $[001]$ 的夹角

$$\cos\phi = \frac{1 \times 0 + 1 \times 0 + 1 \times 1}{\sqrt{1^2 + 1^2 + 1^2} \times \sqrt{0^2 + 0^2 + 1^2}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \quad (1.5 \text{ 分})$$

$[101]$ 与拉力轴 $[001]$ 的夹角

$$\cos\lambda = \frac{1 \times 0 + 0 \times 0 + 1 \times 1}{\sqrt{1^2 + 0^2 + 1^2} \times \sqrt{0^2 + 0^2 + 1^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (1.5 \text{ 分})$$

$$\text{需施加的力 } \sigma = \frac{\tau}{\cos\phi \cos\lambda} = 2.45 \text{ MPa} \quad (2 \text{ 分})$$

(2) (111) 面会发生晶面转动 (2 分), 晶面转动使晶体位向发生了改变, 使滑移面和滑移方向逐渐趋于平行拉伸轴线方向, 从而使后续塑性变形的所需外力进一步增大。 (3 分)

七、答: (1) 加工硬化 单晶体的加工硬化曲线有以下三个阶段:

a. 在硬化曲线的第 I 阶段, 由于晶体中只有一组滑移系发生滑移, 在平行的滑移面上移动的位错很少受到其他位错的干扰, 故可移动相当长的距离并可能到达晶体表面, 这样位错源就能不断地增殖出新位错, 使第 I 阶段产生较大的应变, 由于此阶段的位错移动和增殖所遇到的阻力都是很小的, 所以加工硬化率 θ_I 很小。 (2 分)

b. 进入第 II 阶段, 变形以两组或多组滑移系进行, 由于相交滑移系上位错的交互作用, 生成割阶、固定位错等障碍, 晶体中位错密度迅速增高, 产生塞积群或形成缠结和胞状亚结

构,使位错不能越过这些障碍而被限制在一定范围之内移动。流变应力与位错平均密度之间存在以下关系 $\tau = \tau_0 + \alpha G \rho^{1/2}$, 即随着塑性应变的增大,晶体中的位错密度迅速增高,继续变形所需的流变应力变大,加工硬化系数 θ_{\parallel} 很大。(3分)

c. 第Ⅲ阶段中起主要作用的是交滑移。当流变应力增高到一定程度后,滑移面上的螺位错可借交滑移而绕过障碍,避免了与之发生交互作用,而且异号的螺位错还通过交滑移走到一起,彼此抵消。这些情况使一部分硬化作用被消除掉(动态回复),使加工硬化系数 θ_{\parallel} 下降,曲线呈抛物线型。(3分)

(2) 细晶强化

a. 晶界上点阵畸变严重,外加应力必须大到足以激发大量晶粒中的位错源运动,产生滑移,才能察觉到宏观的塑性变形,因此晶界对位错的运动起阻碍作用,致使塑性变形抗力提高。而晶界数量直接决定于晶粒的大小,因此晶粒越小,晶界越多,材料的强度也越高。(3分)

b. 当位错移动到晶界处受阻形成塞积时,滑移就不能继续下去,同时位错塞积引起应力集中,当应力增加到一定程度时,相邻晶粒的变形协调配合,从而得以继续进行。而位错源开动所需应力 $\sigma_s = \sigma_i + \sigma_c (r/d)^{1/2} = \sigma_i + K d^{-1/2}$, 由此公式可以看出: d 越小,位错源开动所需应力越大,物体宏观表现为强度等性能越高。(4分)

试题三解析

一、单选题(每题1分,共20分)

1. a 2. c 3. c 4. c 5. c 6. a 7. a 8. b 9. b 10. b 11. a
12. b 13. b 14. a 15. a 16. c 17. c 18. b 19. a 20. c

二、判断题(正确的打√,错误的打×,每题1分,共10分)

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

三、看图填空(每空1分,共19分)

1. 滑移;孪生;滑移。
2. Fe_3C ; $\text{P} + \text{Fe}_3\text{C}$; $\text{P} + \text{F}$; F 。
3. 碳钢;黄铜;纯铜。
4. $T < T_g$; 略高于 T_g ; 略低于 T_m ; $T > T_m$ 。
5. 内应力;硬度;电阻率;亚晶粒尺寸;密度。

四、简答题(第1题2分,2~4题每题3分,第5题4分,第6题8分,共23分)

1. 答:溶质原子自浓度低处向浓度高处迁移的现象,称为上坡扩散(1分)。从热力学角度,扩散是由于化学位的不同而引起的,各组元的原子总是由高化学位区向低化学位区扩散,扩散的真正推动力不是浓度梯度,而是化学梯度(2分)。

2. 答:在一定条件下进行热变形,材料可能得到特别大的均匀塑性变形,而不发生缩颈,延伸率可达500%~2000%,材料的这种特性称为超塑性(1分)。

条件:(1)材料本身应具有细小、等轴、稳定的复相组织;

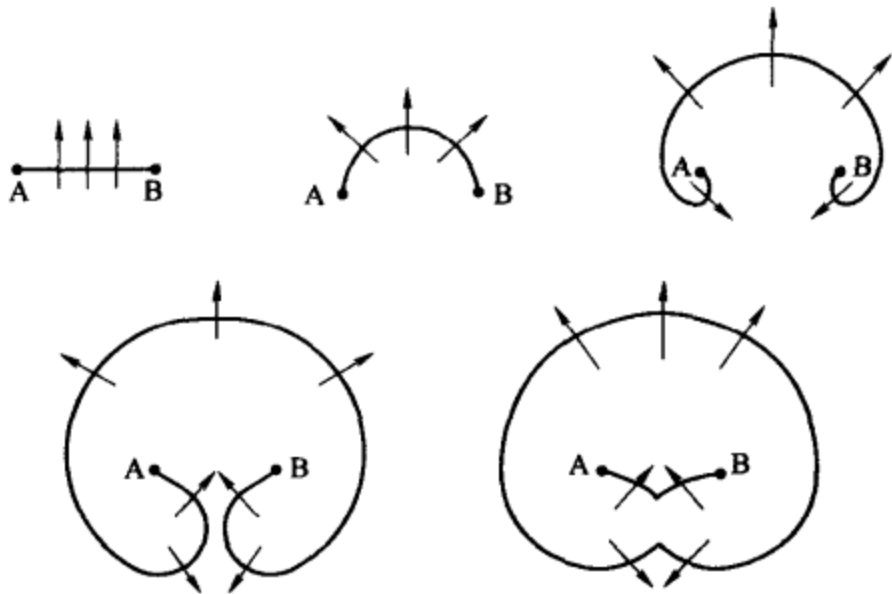
(2)在 $(0.5 \sim 0.65)T_m$ 进行热变形;

(3)低的应变速率 $10^{-2} \sim 10^{-4} \text{mm/s}$ 。(2分)

3. 答:由于陶瓷粉末烧结时难以避免显微空隙,冷却或热循环时热应力产生显微裂纹(1分)。裂纹尖端由于应力集中,使得裂尖最大应力可达到理论屈服强度,由于陶瓷晶体中可动位错很少,位错运动困难,所以一达到屈服强度就断裂。故陶瓷的理论屈服强度很高,

但其实际拉伸强度或断裂强度却很低（1分）。而压缩时，显微裂纹或闭合或呈稳态地缓慢扩展，并转向平行于压缩轴。故其压缩强度比拉伸强度约高一个数量级（1分）。

4. 答：（1）温度， T 越高，晶粒越粗大；（1分）
 （2）第二相粒子，越弥散、细小，抑制长大效果越好；（1分）
 （3）位向差小，晶界迁移速度慢；
 （4）微量溶质或杂质，显著降低晶界迁移速度。（1分）
 5. 答：（4分）



6. 答：（每格 0.5 分）

运动方式	全位错	弗兰克位错	肖克莱位错	面角位错
柏氏矢量	$\frac{a}{2}\langle 110 \rangle$	$\frac{a}{3}\langle 111 \rangle$	$\frac{a}{6}\langle 112 \rangle$	$\frac{a}{6}\langle 110 \rangle$
位错类型	刃、螺、混	刃	刃、螺、混	刃
位错线形状	任意	平面曲线	平面曲线	一般为直线
可能的运动方式	滑移、攀移	只能攀移	只能滑移	不能运动

五、1. 碳在 γ -铁中的扩散系数为：

$$D_C^{\gamma} = 2.0 \times 10^{-5} \exp\left(\frac{-140 \times 10^3}{RT}\right), \text{ 已知 } R = 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \text{ (1分)}$$

$$T = 870 + 273 = 1143 \text{ K}$$

$$\therefore D_{C1143}^{\gamma} = 2.0 \times 10^{-5} \exp\left(\frac{-140 \times 10^3}{8.314 \times 1143}\right) = 7.99 \times 10^{-12} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \text{ (2分)}$$

$$\text{又 } T = 927 + 273 = 1200 \text{ K}$$

$$\therefore D_{C1200}^{\gamma} = 2.0 \times 10^{-5} \exp\left(\frac{-140 \times 10^3}{8.314 \times 1200}\right) = 16.1 \times 10^{-12} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \text{ (2分)}$$

$$2. z = K \sqrt{Dt} \text{ (2分)}$$

$$z_{1200} = z_{1143}, t_{1200} = 10 \text{ h}$$

$$\sqrt{D_{1200} \times 10} = \sqrt{D_{1143} \times t_{1143}} \text{ (1分)}$$

$$t_{1143} = \frac{D_{1200}}{D_{1143}} \times 10 = \frac{16.1 \times 10^{-12}}{7.99 \times 10^{-12}} \times 10 = 20.15 \text{ h (2分)}$$

六、答：1. 晶体学条件 $\frac{a}{2}[10\bar{1}] + \frac{a}{2}[011] = \frac{a}{2}[110]$

能量条件

$$\sum b_{\text{反应前}}^2 = \left(\frac{a}{2}\right)^2 (\sqrt{1^2+1^2})^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 (\sqrt{1^2+1^2})^2 = \frac{a^2}{2} + \frac{a^2}{2} = a^2$$

$$\sum b_{\text{反应后}}^2 = \left(\frac{a}{2}\right)^2 (\sqrt{1^2+1^2})^2 = \frac{a^2}{2}$$

$$\sum b_{\text{反应前}} > \sum b_{\text{反应后}} \quad (1 \text{ 分})$$

根据上面两个条件，可判断上面反应可以进行（1分）。

2. 由于位错线为两滑移面交线，故位错线：

$$\zeta = n_1 \times n_2 = \begin{vmatrix} i & j & k \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{1} & 1 \end{vmatrix} = [10\bar{1}] \quad (n_1、n_2 \text{ 分别为两滑移面法线矢量}) \quad (1 \text{ 分}).$$

可见，位错线与柏氏矢量既不平行，也不垂直，该新生位错为混合型位错（1分）。

已知该新生位错的位错线及柏氏矢量，可由它们叉乘得到新生位错滑移面的法向量：

$$n_3 = \zeta \times b = \begin{vmatrix} i & j & k \\ 1 & 0 & \bar{1} \\ 1 & 1 & 0 \end{vmatrix} = [1\bar{1}1], \text{ 该位错的滑移面为 } (1\bar{1}1) \quad (1 \text{ 分}).$$

因该滑移面为面心立方的密排面，故该位错可以滑移（1分）。

$$3. \cos\phi = \left| \frac{n_3 \times F}{|n_3| |F|} \right| = \frac{1}{\sqrt{1^2+(-1)^2+1^2} \sqrt{1^2}} = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

$$\cos\lambda = \left| \frac{b \times F}{|b| |F|} \right| = \frac{\frac{1}{2}}{\sqrt{\left(\frac{1}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2} \sqrt{1^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (2 \text{ 分})$$

根据 Schmid 定律，作用在新生位错滑移面的滑移方向上的分切应力为：

$$\tau_0 = \sigma \cos\phi \cos\lambda = 17.2 \times \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{\sqrt{2}} = 7.0 \text{ MPa} \quad (1 \text{ 分})$$

所以，作用在单位长度位错线上的力为：

$$f = \tau b = \frac{a\tau_0}{\sqrt{2}} = \frac{0.2 \times 10^{-9} \times 7 \times 10^6}{\sqrt{2}} = 10^{-3} \text{ N/m} \quad (1 \text{ 分})$$

其方向为垂直于位错线方向 $[10\bar{1}]$ ，指向未滑移区。

七、答：1. 低碳钢在冲压成型时会因屈服延伸区所产生的不均匀变形（吕德斯带）而使工件表面粗糙不平（1分）。产生这一屈服现象的原因主要是由于间隙型碳原子在体心立方金属 $\alpha\text{-Fe}$ 中与位错具有很强的交互作用，形成柯氏气团，位错被牢固地钉扎住，在一般压力下不能脱钉，从而形成上下屈服现象（1分）。当去载后立即重新加载延伸时，由于位错已经脱出气团的钉扎，故不出现屈服现象，基于此原因，生产中通常将薄板在冲压之前先经一道微量的冷轧（通常为1%~2%压下量），使屈服点消除，随后进行冲压加工，就可保证工件表面的平滑光洁（2分）。

2. 冷拉钢丝绳是由大变形量的冷拔钢丝绞合而成。加工过程的冷加工硬化使钢丝的强度、硬度大大提高，从而能承载很大的工件（1分）。但是当将其加热至860℃时，其温度已远远超过钢丝绳的再结晶温度，以至产生回复再结晶现象，加工硬化效果完全消失，强度、硬度大大降低（2分）。再把它用来起重时，一旦负载超过其承载能力，必然导致钢丝绳断裂事故（1分）。

试题四解析

一、单选题（每题1分，共20分）

1. b 2. b 3. c 4. a 5. c 6. a 7. c 8. a 9. a 10. a 11. b 12. c 13. a
14. b 15. a 16. b 17. b 18. c 19. a 20. c

二、简答题（1, 2题各3分，其余每题4分，共30分）

1. 答：变形金属回复中发生稳定多边化过程的驱动力来自位错应变能的降低（1分），当同号刃型位错沿滑移面水平排列，其应变能是叠加的（1分）；多边化后，同号位错垂直滑移面排列，其应变能可部分抵消，从而使应变能降低，变形储能部分释放（1分）。

2. 答：（1）柏氏矢量与所作的柏氏回路的起点选择、具体途径无关。（1分）

（2）如果所作的柏氏回路包含有几个位错，则得出的柏氏矢量是这几个位错的柏氏矢量之总和。朝向节点的各位错的柏氏矢量之总和必然等于离开节点的位错的柏氏矢量之总和。（1分）

（3）从柏氏矢量的这些特性可知，位错线只能终止在晶体表面或晶界上，而不能中断于晶体的内部。在晶体内部，它只能形成封闭的环或与其他位错相遇于节点。（1分）

3. 答：（1）溶质原子：溶质原子在界面处富集，阻碍界面的迁移；（1分）

（2）温度：温度越高，界面迁移率越高；（1分）

（3）相邻晶粒的取向差：取向差减小，界面迁移率降低；（1分）

（4）第二相粒子：合金中的第二相粒子对晶界的移动有阻碍作用。（1分）

4. 答：铜属面心立方结构，单晶铜应力-应变曲线属于典型的易滑移、线性硬化和抛物线型硬化三阶段加工硬化曲线（1分）。多晶铜的塑性变形由于晶界的阻碍作用和晶粒之间的协调配合要求，各晶粒不可能以单一滑移系运动而必然有多组滑移系同时作用（1分），因此多晶铜的应力-应变曲线不会出现单晶铜曲线的易滑移阶段，仅有线性硬化和抛物线型硬化两阶段，通常其曲线较陡，且在单晶体应力-应变曲线上方（1分）。单晶铜加工硬化呈各向异性，而多晶铜则呈各向同性（1分）。

5. 答：陶瓷晶体的变形与其结合键的特点有关（1分），还由于陶瓷晶体的滑移系少、位错的柏氏矢量大，其塑性变形能力较低（1分）。此外，由于陶瓷粉末烧结时难以避免显微空隙，冷却或热循环时热应力产生显微裂纹。裂纹尖端由于应力集中，使得裂尖最大应力可达到理论屈服强度，由于陶瓷晶体中可动位错很少，位错运动困难，所以一达到屈服强度就断裂（1分）。而压缩时，显微裂纹或者闭合或者呈稳态地缓慢扩展，并转向平行于压缩轴。故其压缩强度比拉伸强度约高一个数量级（1分）。

6. 答：位错绕过机制是不可形变第二相弥散颗粒的强化机制（1分），即由于不可变形颗粒对位错的斥力足够大，位错运动受阻，以弯曲形式向前移动，异号位错相互抵消，留下围绕颗粒的位错环后，位错继续向前滑移（1分）。颗粒半径或颗粒间距越小，不可形变第二相弥散强化效应越明显（1分）；当颗粒尺寸一定时，体积分数越大，强化效果越好（1分）。

7. 答：扩散系数 D 与温度间的关系可由阿伦尼乌斯方程 $D = D_0 e^{-\frac{Q}{RT}}$ 表示（1分），其中 Q 被称为扩散激活能，即扩散过程中原子迁移至近邻位置所必须克服的能垒，常用 J/mol 为单位（1分）。实验方法：由实验值确定 $\ln D$ 与 $1/T$ 的关系（1分），如果两者呈线性关系，则 $\ln D - 1/T$ 图中的直线斜率为 $-Q/R$ 值，代入 R 值即可求得扩散激活能 Q （1分）。

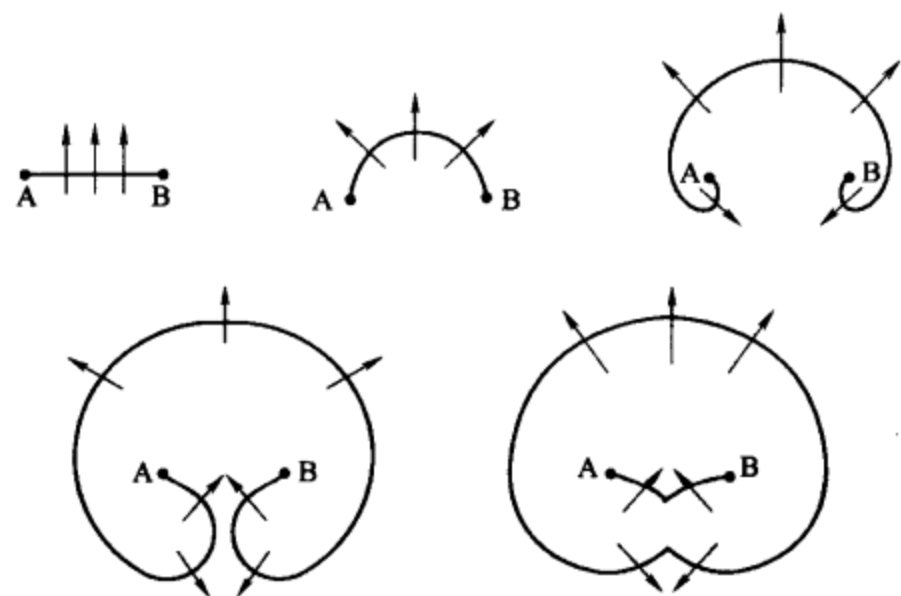
8. 答：晶体中等滑移系交替滑移所需要的最小分切应力，称为临界分切应力。（2分）

实验方法：（1）选择单晶体中合适的取向，使晶体的初始滑移为单滑移；（2）测定晶体

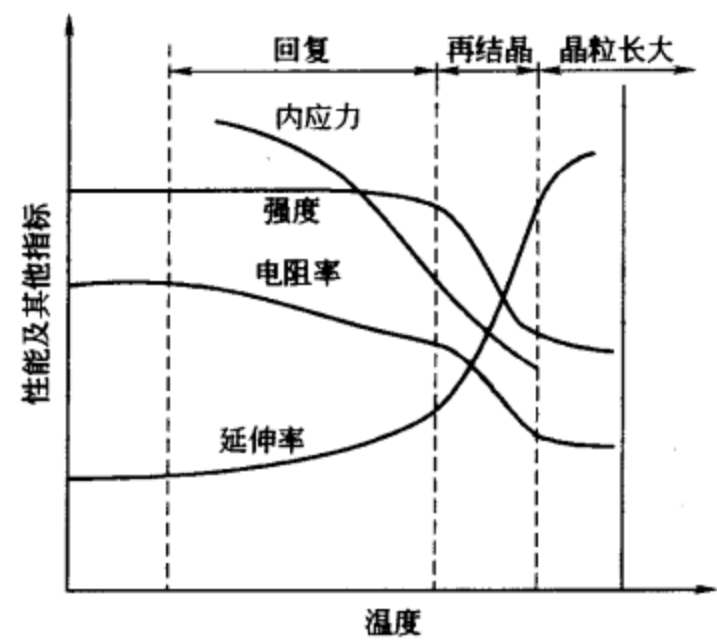
的拉伸方向的取向，来获得取向因子 $\cos\phi\cos\lambda$ ；(3) 利用 $\tau_c = \sigma_s \cos\phi\cos\lambda$ 和拉伸曲线上的 σ_s ，以及取向因子，计算出 τ_c 。(2 分)

三、作图题（每题 3 分，共 12 分）

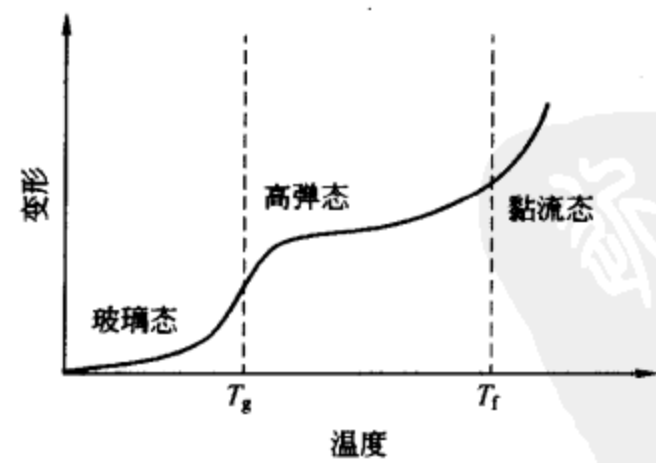
1.



2.（每曲线 0.5 分，坐标系及标注 1 分）



3.（曲线 1 分，坐标系及标注 2 分）



4. 答：图略。（2 分）

由于锡的再结晶温度低于室温，在击穿时，弹孔周围变形晶粒发生动态再结晶，呈较原始晶粒更为细小的等轴晶粒。（1 分）

四、答：(1) 扩散系数： $D = D_0 \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right)$ （2 分）

$$\text{故 } D = 0.23 \times \exp\left[\frac{-134000}{8.314 \times (273 + 920)}\right] = 3.12 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s} \quad (2 \text{ 分})$$

根据渗碳方程

$$\rho(x, t) = \rho_s - (\rho_s - \rho_0) \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) \quad (2 \text{ 分})$$

$$\text{故 } \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) = \frac{\rho_s - \rho(x, t)}{(\rho_s - \rho_0)} = \frac{1.2 - 0.45}{1.2 - 0.1} = 0.682 \quad (2 \text{ 分})$$

$$\text{查表得 } \frac{x}{2\sqrt{Dt}} = 0.71 \quad (1 \text{ 分}) \quad \text{解得 } t = 2.8 \text{ h} \quad (1 \text{ 分})$$

(2)

表面	A	心部
1.2%		0.1%

 (2 分)

表面	P+F	心部
Fe ₃ C+P		
1.2%	0.77%	0.1%

 (3 分)

五、答：1. 根据柏氏矢量的守恒性 $\frac{a}{2}[1\bar{1}0] \longrightarrow \frac{a}{6}[2\bar{1}\bar{1}] + \frac{a}{6}[uvw]$ (1 分)

可得 $u=1, v=-2, w=1$, 即 $\frac{a}{2}[1\bar{1}0] \longrightarrow \frac{a}{6}[2\bar{1}\bar{1}] + \frac{a}{6}[1\bar{2}1]$ (1 分)

$\frac{a}{2}[011] \longrightarrow \frac{a}{6}[\bar{1}21] + \frac{a}{6}[uvw]$, 可得 $u=1, v=1, w=2$,

即 $\frac{a}{2}[011] \longrightarrow \frac{a}{6}[\bar{1}21] + \frac{a}{6}[112]$ (1 分)

2. $\frac{a}{6}[2\bar{1}\bar{1}] + \frac{a}{6}[\bar{1}21] \longrightarrow \frac{a}{6}[110]$

晶体学条件: $\sum b_{\text{反应前}} = \sum b_{\text{反应后}}$ (1 分)

能量条件:

$$\sum b_{\text{反应前}}^2 = \left(\frac{a}{6}\right)^2 (\sqrt{2^2 + 1^2 + 1^2})^2 + \left(\frac{a}{6}\right)^2 (\sqrt{1^2 + 2^2 + 1^2})^2 = \frac{a^2}{3}$$

$$\sum b_{\text{反应后}}^2 = \left(\frac{a}{6}\right)^2 (\sqrt{1^2 + 1^2})^2 = \frac{a^2}{18}$$

$$\sum b_{\text{反应前}} > \sum b_{\text{反应后}} \quad (1 \text{ 分})$$

根据上面两个条件, 可判断上面反应可以进行 (1 分)

上述新生成位错 $\frac{a}{6}[110]$ 的位错线即为两滑移面交线, 故位错线:

$$\zeta = n_1 \times n_2 = \begin{vmatrix} i & j & k \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & \bar{1} \end{vmatrix} = [\bar{1}01] \quad (n_1, n_2 \text{ 分别为两滑移面法线矢量}) \quad (1 \text{ 分});$$

$\zeta \times b = 0$, 故 $\zeta \perp b$, 该新生位错为刃型位错 (1 分)。

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

$$n_3 = \zeta \times b = \begin{vmatrix} i & j & k \\ \bar{1} & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{vmatrix} = [00\bar{1}], \text{ 该位错的滑移面为 } (00\bar{1}) \quad (1 \text{ 分}).$$

因该滑移面不在密排面上,且两边都有层错区连接,形成了稳定的压杆位错,故该位错不能滑移(2分)。

$$3. d = \frac{Gb_1 \times b_2}{2\pi\gamma} \quad (1 \text{ 分})$$

$$= \frac{G \frac{a}{6} [2\bar{1}\bar{1}] \times \frac{a}{6} [1\bar{2}1]}{2\pi\gamma} \quad (2 \text{ 分})$$

$$= \frac{4 \times 10^4 \times 10^6 \times \frac{0.36^2}{36} \times [2 \times 1 + 1 \times 2 - 1 \times 1]}{2\pi \times 0.04 \times 10^9}$$

$$= 1.72 \text{ nm} \quad (1 \text{ 分})$$

六、1. 答:架空导线用冷拉铜导线要求一定的强度,故通过回复退火去除一定的残余内应力,提高抗应力腐蚀能力,保持冷拉加工硬化的效果(2分);电灯花导线要求韧性好和导电率高,应采用再结晶退火最终热处理工艺,提高韧性和导电率(2分)。

2. 答:前种工艺,由于铝件变形处于临界变形度下,故退火时可形成个别再结晶核心,最终晶核极为粗大(1.5分);而后种工艺是由于进行再结晶退火时的温度选择不合理,若按 $T_{\text{再}} = 0.4T_{\text{熔}}$ 计算,则 $T_{\text{再}} = 100^\circ\text{C}$,故再结晶温度不超过 200°C 为宜。由于采用 620°C 退火 1h,处于再结晶图上的晶粒异常长大区,故晶粒仍然粗大(1.5分)。

正确工艺: 150°C 退火处理 1h (1分)。

试题五解析

一、单选题(每题1分,共20分)

1. a 2. c 3. c 4. c 5. c 6. a 7. a 8. b 9. b 10. b 11. a 12. b 13. b
14. a 15. a 16. c 17. c 18. b 19. a 20. c

二、简答题(1,2题各3分,其余每题4分,共30分)

1. 答:经一定塑性变形后,变形晶体中位错线通过运动交互作用,形成位错缠结,进一步增加变形度,大量位错发生聚集,并由缠结的位错组成胞状亚结构(1分)。变形度越大,胞状亚结构数量越多、尺寸越小(1分)。此外,层错能较高的金属和合金,其扩展位错区较窄,易于通过束集而交滑移,故在变形过程中经位错增殖和交互作用,容易出现明显的胞状亚结构(1分)。

2. 答:淬火、辐照和塑性变形。(各1分)

3. 答:(1)温度越高,扩散系数越大;(2)晶体结构的影响:密排结构中扩散较慢;(3)固溶体类型的影响:间隙溶质原子的扩散快于置换原子;(4)晶体缺陷影响:晶界、界面促进扩散。(各1分)

4. 答:锌属密排六方结构,单晶锌的应力-应变曲线中的第Ⅰ阶段(易滑移阶段)通常很长,以至于第Ⅱ阶段还未充分发展试样就已断裂(1分)。而多晶锌的塑性变形由于晶界的阻碍作用和晶粒之间的协调配合要求,各晶粒不可能以单一滑移系运动而必然有多组滑移系同时作用(1分),因此其应力-应变曲线不会出现单晶锌曲线的易滑移阶段,仅有线性硬化和抛物线型硬化两阶段。通常其曲线较陡,且在单晶体应力-应变曲线上方(1分)。单晶锌加工硬化呈各向异性,而多晶锌则呈各向同性(1分)。

5. 答:陶瓷晶体有共价键晶体、离子键晶体和共价-离子混合晶体。由于共价键的方向性和饱和性,位错运动有很高的点阵阻力,而对于离子键晶体,位错运动通常都受到同号离

子的巨大斥力，只在某些特定的方向上运动才较容易进行（1分）。陶瓷晶体中的滑移系少，塑性变形能力差（1分）。在陶瓷晶体中一般柏氏矢量较大，因而位错运动阻力大（1分）。共价键晶体价键方向性、离子键晶体的静电作用力都对陶瓷晶体滑移系的可动性起决定性的影响（1分）。

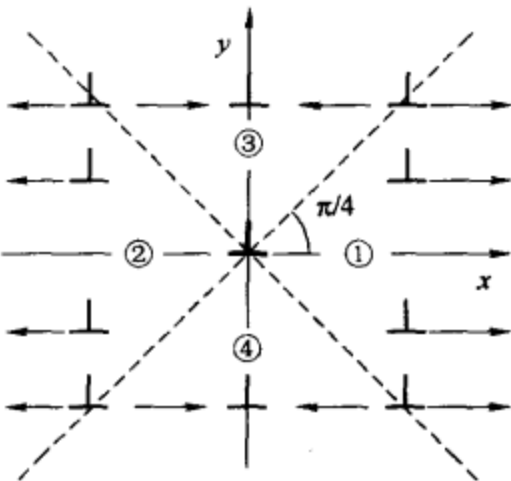
6. 答：当第二相为可变形微粒时，滑移位错将切过粒子，并使之随同基体一起变形（1分），即所谓切过强化机制（1分）。第二相粒子与基体相保持共格或半共格、弹性模量的差异、晶体结构差异等均造成位错运动受阻（1分）。此外，增加可变形粒子的尺寸和体积分数，有利于提高强度（1分）。

7. 答：主要是合理控制再结晶形核率和晶粒长大速率两因素（2分）。常用较大冷变形量、较细原始组织、添加微量溶质（或杂质）元素及细小、弥散的第二相粒子，均有利于细化晶粒（1分）；此外在保证再结晶效果的前提下，应降低加热温度、缩短保温时间（1分）。

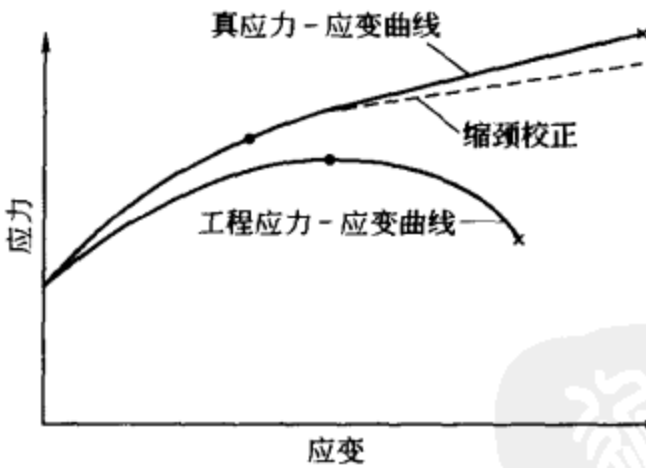
8. 答：即测量经较大冷变形（变形量大于70%）的金属（2分），在1h以内能够完成再结晶（或再结晶体积分数大于95%）的最低温度（2分）。

三、作图题（每题3分，共12分）

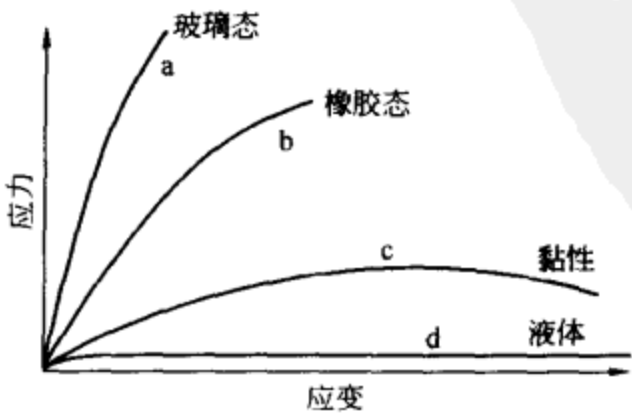
1.



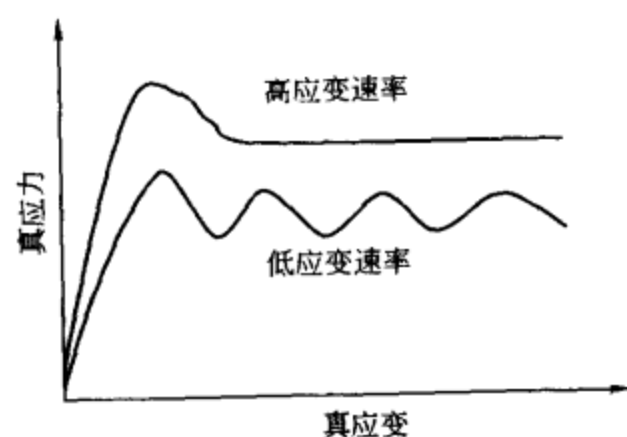
2.



3.



4.



四、答：因为扩散系数： $D = D_0 \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right)$ (2分)

代入数字得 $\frac{D_{800^\circ\text{C}}}{D_{900^\circ\text{C}}} = \frac{D_0 \times \exp\left(\frac{-137520}{8.314 \times 1073}\right)}{D_0 \times \exp\left(\frac{-137520}{8.314 \times 1173}\right)} = 0.27$ (2分)

由于 $\frac{x^2}{4Dt} = \text{常数}$ (2分)

代入数字得 $\frac{0.1^2}{4D_{800^\circ\text{C}} \times 10 \times 3600} = \frac{0.1^2}{4D_{900^\circ\text{C}} \times t \times 3600}$ (2分)
 $t_{900^\circ\text{C}} = 2.7\text{h}$ (1分)

五、答：1. 因为滑移方向为该滑移系中的密排方向，而晶体的滑移方向始终是位错的柏氏矢量方向。故 $b = \frac{a}{2}[10\bar{1}]$ (1分)。位错线位于滑移面 (111) 上，设其法线向量为 p ，设位错线的方向为 $l[uvw]$ ，则有：

$$l \times p = u \times 1 + v \times 1 + w \times 1 = 0 \Rightarrow u + v + w = 0 \quad (1\text{分})$$

又位错线与 b 垂直，则有：

$$l \times b = u \times 1 + v \times 0 + w \times (-1) = 0 \Rightarrow u - w = 0 \quad (1\text{分})$$

由以上两式可得 $u : v : w = 1 : \bar{2} : 1$ (1分)

故位错线方向为 $[\bar{1}21]$ 。(1分)

2. 滑移面 (111) 的法线方向 $[111]$ 和拉伸轴 $[001]$ 的夹角

$$\cos\phi = \frac{1 \times 0 + 1 \times 0 + 1 \times 1}{\sqrt{1^2 + 1^2 + 1^2} \times \sqrt{0^2 + 0^2 + 1^2}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \quad (0.5\text{分})$$

滑移方向 $[10\bar{1}]$ 和拉力轴 $[001]$ 的夹角

$$\cos\lambda = \frac{1 \times 0 + 0 \times 0 + 1 \times 1}{\sqrt{1^2 + 0^2 + 1^2} \times \sqrt{0^2 + 0^2 + 1^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (0.5\text{分})$$

$$\tau = \sigma \cos\phi \cos\lambda = 10^6 \times \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{\sqrt{2}} = 4.0825 \times 10^5 \text{ Pa} \quad (1.5\text{分})$$

$$F = \tau \times b = 4.0825 \times 10^5 \times \frac{\sqrt{2}}{2} \times 0.36 \times 10^9 = 1.039 \times 10^{-4} \text{ N/m} \quad (1.5\text{分})$$

其所受力的方向垂直于位错线，即 $\frac{a}{2}[10\bar{1}]$ (1分)。

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

$$b_1 \times b_2 = \left(\frac{a}{6}\right)^2 [1 \times 2 + 1 \times (-1) + (-2) \times (-1)] = \frac{a^2}{36} \times 3 = \frac{a^2}{12} \quad (1 \text{ 分})$$

$$d = \frac{Gb_1 \times b_2}{2\pi\gamma} \quad (1 \text{ 分})$$

$$= \frac{4 \times 10^4 \times 10^6 \times \frac{a^2}{12}}{2\pi \times 0.04 \times 10^9} = 1.72 \text{ nm} \quad (1 \text{ 分})$$

Ni 等元素加入后，会偏聚在 $\{111\}$ 面上形成铃木气团，该气团的存在使扩展位错稳定，增加其运动难度（2 分）。

六、1. 答：低碳钢在冲压成型时会因屈服延伸区所产生的不均匀变形（吕德斯带）而使工件表面粗糙不平（1 分）。产生这一屈服现象的原因主要是由于间隙型碳原子在体心立方金属 $\alpha\text{-Fe}$ 中与位错具有很强的交互作用，形成柯氏气团，位错被牢固地钉扎住，在一般压力下不能脱钉，从而形成上下屈服现象（2 分）。当去载后立即重新加载延伸时，由于位错已经脱出气团的钉扎，故不出现屈服现象，基于此原因，生产中通常将薄板在冲压之前先经一道微量的冷轧（通常为 1%~2% 压下量），使屈服点消除，随后进行冲压加工，就可保证工件表面的平滑光洁（2 分）。

2. 答：在 800℃ 长时间渗碳后组织分布：

表面	中间	心部	
渗碳体	奥氏体	铁素体	(3 分)

1.5% 的渗碳气氛大大超过 900℃ 奥氏体最大碳溶解度（0.9%），因此在工件表面形成渗碳体（1 分）。经渗碳后缓慢冷却至室温组织分布：

表面	中间	心部	
渗碳体	珠光体+二次渗碳体	珠光体+铁素体	铁素体 (4 分)

试题六解析

一、名词解释（20 分，每小题 4 分）

1. 不全位错：位错的柏氏矢量不等于晶体点阵矢量整倍数的位错称为不全位错，其位错线是堆垛层错区与晶体完整区间的分界线。

2. 堆垛层错：实际晶体结构中，原子面的正常堆垛顺序经常由于某种原因出现错误排列，这种原子错排区称为堆垛层错，简称层错。层错为面缺陷，其厚度一般具有 1~2 个原子间距，主要分为滑移型、抽出型和插入型三种层错。

3. 带状组织：带状组织一般指亚共析钢在热轧之后出现的铁素体和珠光体沿变形方向分布的带状或层状的不正常组织，有些合金热轧后也会出现这种组织。带状组织的形成与杂质元素在枝晶间偏析或者合金在两相区进行热轧有关。

4. 多滑移：晶体在外力作用下滑移时，由于晶体的转动，将使多个滑移系同时达到临界分切应力，从而使这些滑移系同时或交替进行滑移，多滑移也称为复滑移。

5. 再结晶温度：冷变形金属开始再结晶的最低温度称为再结晶温度。再结晶温度与很多因素有关，工业上一般定义为经大变形量的冷变形金属经 1h 退火能完全再结晶的最低温度。

二、填空（26 分，每小题 1 分）

1. 滑移；攀移；半原子面；滑移；攀移；滑移；攀移；扩散；加速。

2. 平行；平行；垂直；垂直；垂直；平行于柏氏矢量的分切应力；柏氏矢量的模；未滑移。

3. 平行；刃型；螺型；混合型；滑移；攀移。

4. 形核；长大；化学成分和晶体结构。

三、(15 分) 答：多晶体纯金属的晶粒取向不同以及相邻晶粒间存在晶界，使得其冷塑性变形过程和强化机理与单晶体金属有较大区别。

多晶体金属冷塑性变形时，由于晶粒取向不同，外力作用在每个晶粒滑移系上的分切应力不尽相同，取向较软的晶粒首先达到临界分切应力开始滑移，其他晶粒由于未达到临界分切应力不能滑移。随着外力增大和滑移时晶体转动，其他晶粒也将逐渐达到临界分切应力，开始滑移。可以看出，多晶体滑移过程是在晶粒中逐渐进行的，滑移从软取向晶粒开始，然后依次扩展到其他晶粒，乃至整个金属中。

多晶体金属的强化原因主要体现在两个方面，即晶粒的相互协调性和晶界的阻碍作用。滑移开始时，已滑移晶粒处在未滑移晶粒的包围之中，并受到未滑移晶粒的制约，这就要求已滑移晶粒与未滑移晶粒间要有良好的相互协调性，以保证滑移的连续进行。因此，多晶体金属一开始就是多滑移，从而使塑性变形阻力加大，强度升高。在常温或低温下，晶界对金属滑移有很大的阻碍作用，可以明显提高金属的强度，这是由于晶界上原子排列混乱，当位错运动到晶界附近时，不可能穿过晶界到达晶界的另一侧，导致大量位错在晶界前沿受阻，形成位错塞积群；另外，由于相邻晶粒的取向不同，根据刃型位错具有固定滑移面的特征可以看出，该位错不可能通过晶界，这也是金属强化的原因之一。经过实验和理论计算发现，晶粒或亚晶粒尺寸越小，金属的强度越高，强度与晶粒尺寸满足 Hall-Petch 公式。

四、(9 分) 答：晶体的理论屈服强度是以刚性滑移模型为基础计算出的，该模型认为晶体是完整的，不存在任何缺陷。在外力作用下，晶体中相邻两部分晶体沿滑移面和滑移方向作整体的刚性滑移，显然，晶体滑移时外力要破坏掉滑移面上上下两层原子面间的所有结合键，需要做很大的功，由此计算的理论屈服强度远高于实际屈服强度。

位错滑移模型是建立在位错运动的基础上，该模型认为晶体滑移是位错在滑移面上运动的结果。当位错在滑移面上滑移时，只需要位错线中心区域的原子发生微小的移动，而远离位错线的原子位移量迅速减小，这样，位错运动仅破坏位错线中心少量原子的结合键，所做的功小得多。位错滑移使晶体滑移阻力急剧减小，所计算的屈服强度比理论屈服强度低 3~4 个数量级，接近于实验值。

五、(10 分) 答：金属冷变形后存储的内应力分为第一类内应力、第二类内应力和第三类内应力。在回复时，随着温度升高，金属的屈服强度逐渐降低，在某些局部区域内将发生微量的塑性变形，使第一类内应力和第二类内应力大部分被消除，第三类内应力也有所降低。剩余的内应力则在再结晶过程中进一步被消除。因此，回复的主要作用是消除内应力。

金属的力学性能主要指强度、硬度及塑性、韧性。冷变形金属回复时，由于温度较低，位错密度变化不大，金属的强度和硬度仅有少量降低，塑性和韧性稍有升高。在再结晶过程中，通过形核和长大，无畸变晶粒逐渐取代了冷变形晶粒，使金属的位错密度急剧减小，强度和硬度显著降低，塑性和韧性显著升高。再结晶完成后，金属的力学性能完全恢复到冷塑性变形之前的状态。因此，再结晶的主要目的是消除加工硬化。

六、(12 分) 答：这是一个 A-B 和 A-C 两对组元构成二元包晶系，另一对组元 B-C 构成二元共晶系的三元包共晶合金相图，合金 K 成分点位于四相平衡四边形内，同时也位于 $\triangle apc$ 和 $\triangle bpc$ 三角形内。

将该合金加热到高温熔化后，以缓慢的速度降温，当合金与液相面 Ap_1pp_2A 相遇时，

进入 $L+\alpha$ 两相区, 液相 L 发生匀晶转变, 产物为初晶 α , $L \rightarrow \alpha$ 。继续降低温度, 当冷到二元包晶转变开始面 $ap_p a_2 a$ 时, L 和 α 成分分别到达 $p_2 p$ 和 $a_2 a$ 线上, 发生包晶转变, 产物为包晶组织 γ , $L+\alpha \rightarrow \gamma$ 。随着温度降低, 合金接下来进入 $L+\alpha+\gamma$ 三相区, L 、 α 及 γ 三相成分分别沿 $p_2 p$ 、 $a_2 a$ 及 $c_1 c$ 线变化, 当合金到达四相平衡面时, L 和 α 成分分别到达 p 和 a 两点, 发生四相平衡包共晶转变, 生成包共晶组织, $L+\alpha \rightarrow \beta+\gamma$ 。四相平衡转变完成后, L 相还有剩余, 降温时合金将进入 $L+\beta+\gamma$ 三相区, 发生二元共晶转变, $L \rightarrow \beta+\gamma$, 至二元共晶转变结束面 $bb_2 c_2 cb$ 时, 二元共晶转变完成。继续降低温度, 合金进入 $\beta+\gamma$ 两相区, 沉淀出二次固溶体, $\beta \rightarrow \gamma_{II}$, $\gamma \rightarrow \beta_{II}$, 然后进入 $\alpha+\beta+\gamma$ 三相区, 发生固溶体共析转变, $\alpha \rightarrow \beta_{II} + \gamma_{II}$, $\beta \rightarrow \alpha_{II} + \gamma_{II}$, $\gamma \rightarrow \alpha_{II} + \beta_{II}$ 。因此, 合金的室温组织为: 初晶 α + 包晶 γ + 包共晶 $(\beta+\gamma)$ + 共晶 $(\beta+\gamma)$ + 少量二次相。

试题七解析

一、名词解释 (20 分, 每小题 4 分)

1. 扩展位错: 由一个全位错分解成的两个不全位错, 中间夹着一片堆垛层错区的整个位错组态称为扩展位错。

2. 冷加工纤维组织: 金属冷塑性变性时, 随着变形量的增大, 等轴晶粒沿变形方向被拉长, 塑性夹杂物也沿变形方向被拉长, 脆性夹杂物沿变形方向被碎化并呈点链状分布, 这种组织称为冷加工纤维组织。

3. 再结晶: 冷变形金属加热到再结晶温度以上时, 通过重新形核和长大的方式使变形晶粒转变为无畸变等轴晶粒, 位错密度和空位浓度完全恢复到冷变形之前的状态, 加工硬化也完全消除, 这种转变过程称为再结晶。再结晶过程不发生晶体结构的变化。

4. 成分过冷: 合金凝固过程中, 由于溶质原子的重新分布, 造成液固相界面前沿液体中低熔点组元的富集, 从而改变了合金的理论结晶温度。在正温度梯度下, 液固相界面处合金溶液的过冷度近似为零, 远离界面溶液的过冷度越大, 然后又逐渐减小, 形成月牙形的过冷区, 这种由溶质原子的重新分布和溶液中的实际温度分布所共同决定的过冷称为成分过冷。

5. 上坡扩散: 扩散组元由低浓度向高浓度方向进行的扩散称为上坡扩散。

二、填空 (35 分, 每空 1 分)

1. 表面扩散; 晶界扩散; 位错扩散。

2. 表层细晶区; 柱状晶区; 中心等轴粗晶区。

3. 切; 正; 切; 正。

4. 法线; 柏氏矢量的模; 柏氏矢量的平方。

5. 堆垛层错区与完整区; 滑移; 攀移; 攀移; 滑移; 攀移。

6. 刃型; 攀移; 束集。

7. 滑移; 孪生; 位错线的法线; 位错线; 柏氏矢量; 滑移 (原子密排)。

8. 储存能; 总界面能的减小; 动态回复; 动态再结晶。

9. 点; 线; 面。

三、(12 分) 答: 弥散型合金在冷塑性变形过程中, 随着变形量增大, 强度、硬度不断升高, 塑性、韧性不断降低, 其形变强化过程主要为基体强化和弥散第二相强化。

基体强化主要为加工硬化。合金基体一般为多晶体固溶体合金。在一个晶粒内部, 随着

变形量的不断增大，位错密度不断升高，位错在滑移运动中发生交截，产生大量的割阶和扭折，割阶一般阻碍位错的运动，使位错的滑移阻力增大；位错间发生位错反应，生成大量的固定位错，这些固定位错同时成为近邻其他位错的滑移障碍；大量相互缠结的位错构成了形变亚晶界，从而对晶内位错的滑移产生了更大的制约，亚晶尺寸越小，位错的滑移阻力和局限性更大。在晶粒之间，处于软位向的晶粒首先通过位错的滑移产生塑性变形，这种变形必然要对周围晶粒产生影响并受到周围晶粒的制约，因此晶粒间的变形是一个协调变形的过程，从而使变形阻力增大；另一方面，由于晶界上原子排列非常混乱，位错滑移不可能越过晶界，特别是刃型位错具有固定的滑移面，它不可能由一个晶粒滑移进入位向不同的相邻晶粒，使得晶界成为位错滑移的重要障碍。原始晶粒越细小，晶界总面积越大，细晶强化速率与效果越大。因此，随着变形量的增大，由于位错密度升高以及位错运动受阻，使位错的滑移阻力不断增大，合金的强度升高。

第二相粒子对合金的强化作用是通过位错与粒子间的交互作用引起的，分为位错的绕过机制和切过机制。若第二相粒子不可变形，当位错在外力作用下沿滑移面运动到粒子附近时，由于粒子的钉扎作用，使位错滑移受阻，只能靠粒子之间的位错线段继续向前弓出。当位错线弓出为半圆形时，所需的切应力最大，该应力即为位错绕过粒子的临界切应力。类似于 F-R 位错增殖源，当相邻粒子间的弓出位错相遇时，通过位错反应异号位错相互抵消，结果使位错线在相遇处断开，在每个粒子周围留下个位错环，而原位错线在外力和线张力的共同作用下，逐渐恢复为直线位错，从而绕过了第二相粒子。当第二个位错通过粒子时，由于要绕过一个带位错环的粒子，遇到的阻力更大。依次类推，位错的滑移阻力将逐渐增大，这种机制可以显著地提高合金的强度，是弥散型合金的主要强化机制。若第二相粒子可变形，位错将沿滑移面切过粒子，使粒子相对位移成两个部分，从而形成新的相界面，增加了界面能，再加上其他阻碍位错的因素，使位错的滑移阻力增大。

四、(10 分) 答：当多晶体金属的冷塑性变形量较小时，在金属内部形成的储存能不大，加热再结晶时，没有足够的驱动力发生亚晶界迁移和亚晶合并形核，只能发生晶界弓出形核。由于相邻晶粒在取向上的差异，晶粒的变形程度不同，变形量较大的晶粒位错密度较高，产生的储存能也较高；变形量较小的晶粒位错密度较低，产生的储存能也较低。因此，变形金属在再结晶过程中，晶界将由位错密度较低的晶粒向位错密度较高的晶粒弓出，晶界弓出过程中所扫过的晶体区域位错密度较低，这是一个能量降低的过程。若将晶界能作为阻力，相邻晶粒的储存能差作为驱动力，便可计算出晶界弓出形核的临界条件，当弓出区域达到临界尺寸后，再结晶晶核就形成了。

五、(8 分) 答：形变金属单晶体在高温回复阶段发生的是亚晶粒的多边化过程，其机制是通过位错的滑移和攀移由形变亚晶向回复亚晶的转变过程。金属冷变形后，位于某些平行滑移面上的同号刃型位错构成的位错塞积群在高温回复时，由于位错的运动能力有所增强，它不仅可以通过滑移，而且能够通过攀移使位错逐渐沿着垂直于滑移面的方向排列成位错墙，在位错墙与位错墙之间构成了回复亚晶，相邻亚晶的位向差仅有几度，故亚晶界为小角度晶界。根据位错理论知道，位错墙中的弹性应力场能够部分的相互抵消，因此与形变亚晶相比，回复亚晶具有更低的能量状态。

金属多晶体中发生的多边化过程比单晶体中的复杂得多，它是由冷变形后的复杂位错网络（形变胞）向高温回复时的能量较低的简单位错网络（回复亚晶）的转变过程。在这个过程中，通过各种类型位错的滑移和攀移，最终形成回复亚晶。

六、(15 分) 答：这是一个固态下有限溶解的三元共晶相图的综合投影图，合金 K 成分点落在共晶三角形 mnp 内，同时也落在二元共晶转变开始面 E_1gnEE_1 内。将合金加热熔

化后缓慢降低温度, 至 $E_1BE_2EE_1$ 液相面时, 开始进入 $L+\beta$ 两相区, 结晶出 β 固溶体, $L \rightarrow \beta$ 。随着温度降低, L 越来越少, β 越来越多。当合金冷却至二元共晶转变开始面 E_1gnEE_1 时, 液相成分到达二元共晶转变线 E_1E 上的某一点, 发生二元共晶转变, $L \rightarrow \alpha+\beta$ 。随着温度降低, 合金进入 $L+\alpha+\beta$ 三相区, L 、 α 、 β 的成分分别沿着 E_1E 、 fm 、 gn 三条单变量线变化。当合金到达共晶三角形 mnp 上时, L 、 α 、 β 的成分分别到达 E 、 m 、 n 点, 到达 E 的液相发生四相平衡三元共晶转变, $L \rightarrow \alpha+\beta+\gamma$, 这是一个恒温转变, 直到液相转变完为止。继续降低温度, 进入共晶三角形以下的 $\alpha+\beta+\gamma$ 三相区中, 发生固溶体的共析转变, $\alpha \rightarrow \beta_{II}+\gamma_{II}$, $\beta \rightarrow \alpha_{II}+\gamma_{II}$, $\gamma \rightarrow \alpha_{II}+\beta_{II}$, 生成少量的二次固溶体。由于初晶是 β 固溶体, 只有在 β 中析出的二次固溶体在显微镜中才易分辨, 因此合金的室温组织为: 初晶 β + 二元共晶 $(\alpha+\beta)$ + 三元共晶 $(\alpha+\beta+\gamma)$ + 少量二次相 $\alpha_{II}+\gamma_{II}$ 。

试题八解析

一、名词解释 (20 分, 每小题 4 分)

1. 晶体结构: 晶体中原子、分子或离子等微观粒子的具体排列方式或聚集状态、排列方式不同, 即具有不同的晶体结构, 晶体结构具有无限多种。
2. 晶体致密度: 将原子看作刚性球, 则晶体中原子的总体积与晶体体积的比值称为晶体的致密度, 它表示原子堆积的紧密程度。
3. 同素异构转变: 许多元素具有几种晶体结构, 当外界条件 (如温度、压力等) 改变时, 晶体将会从一种结构向另一种结构转变, 称为同素异构转变, 也称为多晶型转变。
4. 单位位错: 柏氏矢量等于最小点阵矢量的位错称为单位位错。
5. 位错的交滑移: 当螺型位错在滑移面上滑移受阻时, 会转移到与该滑移面相交的另一个滑移面上继续滑移, 这种滑移方式称为位错的交滑移。

二、填空 (35 分, 每空 1 分)

1. $4; \frac{\sqrt{2}}{4}a; 0.74; \{111\}; 8; \langle 110 \rangle; 12; 4; 0.5; \text{大}。$
2. 扭折; 刃; 螺; 不阻碍; 割阶; 刃; 阻碍。
3. 平行; 右; 左; 不能; 可以。
4. 柏氏矢量; 位错线; 1; 无限; 滑移; 攀移; 交滑移; 差。
5. 柏氏矢量; 点阵矢量; 层错; 完整; 不能。

三、(8 分) 答: 按金属键的经典模型, 金属键是由金属正离子与脱离原子核束缚的自由电子之间的静电交互作用构成的, 而金属晶体是由金属键将金属原子结合在一起, 即相当于金属正离子晶格浸泡在自由电子气中, 自由电子为整个金属晶体所共有, 故金属键具有无方向性和无饱和性。

金属的导热是由金属正离子振动和自由电子运动进行的, 故比其他固体物质仅靠原子或分子振动传热的导热性好。

自由电子在电场作用下会产生定向迁移, 形成电流, 使金属具有良好的导电性。

由于金属键的无方向性, 当金属正离子发生移动时, 周围的自由电子也跟着移动, 金属键不易被割断, 故金属具有良好的塑性。

四、(8 分) 答: 两者均由尺寸较小的非金属原子与过渡族金属原子组成稳定性较高的金属间化合物, 非金属原子有规律地处于金属原子晶格的间隙中, 其中, $r_X/r_M < 0.59$ 者, 具有简单晶体结构, 称为简单间隙相或者间隙相, 金属原子通常构成面心立方和密排六方等

结构； $r_X/r_M > 0.59$ 者，具有复杂晶体结构，称为复杂间隙相或者间隙化合物。

间隙化合物具有高的熔点和硬度，而间隙相具有比间隙化合物更高的熔点和硬度，因此后者在高温合金、金属陶瓷以及工、模具钢中得到广泛的应用。

五、(5 分) 答：通常将位向差 $\theta < 10^\circ$ 的晶界称为小角度晶界， $\theta > 10^\circ$ 的晶界称为大角度晶界，二者的晶界结构不同。

小角度晶界分为倾侧晶界和扭转晶界两种基本类型，它们均由位错构成。对称倾侧晶界模型是通过相邻两晶粒向两侧对称旋转各 $\theta/2$ 形成的，特点是晶界与旋转轴平行，只有一个自由度，即位向差 θ 。本质上，该倾侧晶界是由垂直排列的同号刃型位错组成的位错墙，晶界上位错密度越大，则位向差越大；非对称倾侧晶界模型是在对称倾侧晶界的基础上将晶界向一侧晶粒中旋转 ϕ 角形成的，有两个自由度 θ 和 ϕ 。本质上，该倾侧晶界是由两组位错线平行，但位错的滑移面是由垂直的刃型位错相间分布构成的。扭转晶界模型是将相邻两晶粒绕旋转轴相对旋转 θ 形成的，特点是晶界与旋转轴垂直，也有一个自由度，即扭转角 θ 。扭转晶界是由两组位错线相互垂直的螺型位错网络构成的。亚晶界是晶体中常见的小角度晶界，一般由混合型位错构成。

大角度晶界不能单独由位错构成，因为这样构成的晶界位错密度太大，晶界能太高，不符合实际情况。大角度晶界上的原子排列要比小角度晶界混乱得多，晶界上既有压应力区，也有拉应力区，有的原子处于两晶粒的公共阵点上，大多数原子不处于阵点上。大角度晶界模型较多，每种模型都能解释一些实验现象，但目前较为公认的是，在常温或低温下的晶界符合重合位置点阵模型，该模型认为晶界上有一部分原子仍处在两晶粒的重合阵点上，从而使晶界能的计算值大为降低，与实测值较为接近。

六、(8 分) 答：固定位错是指不能滑移的位错。在晶体中可以形成多种类型的固定位错，由于它们自身的结构特点不同，阻碍滑移的能力也不同。面角位错是在面心立方晶体中形成的，当分别处在两个相交的滑移面上的扩散位错朝着滑移面的交线运动时，两个领先的肖克莱不全位错在交线处相遇并发生反应，生成柏氏矢量为 $\frac{a}{6} \langle 110 \rangle$ 的压杆位错，该位错的滑移面是 $\{001\}$ ，而不是晶体的密排面 $\{111\}$ ，故不能滑移，为固定位错。压杆位错在两个滑移面上分别拖着一个层错区，并在层错区的另一边与一个肖克莱不全位错相连，两个层错区又相互呈一定的角度，这样的整个位错组态称为面角位错，它既不能在 $\{111\}$ 面上滑移，也不能在 $\{001\}$ 面上滑移，故面角位错是面心立方结构中稳定性最大的固定位错。

七、(8 分) 答：位错反应需同时满足几何条件和能量条件。几何条件是指位错反应前后的柏氏矢量和相等。由

$$\text{左边} = \frac{a}{2}[101] + \frac{a}{2}[10\bar{1}] = \frac{a}{2}[200] = a[100] = \text{右边}$$

满足几何条件。

能量条件是指位错反应后的弹性应变能小于反应前的弹性应变能。由于位错的弹性应变能正比于 Gb^2 ，由

$$\text{反应前应变能} = \left(\frac{\sqrt{2}}{2}a\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{2}}{2}a\right)^2 = a^2 = \text{反应后应变能}$$

不满足能量条件。故无外力作用时，该位错反应不能进行。

八、(8 分) 答：根据螺型位错的柏氏矢量与位错线相互平行，以及螺型位错的位错线周围的原子面呈螺旋形的特点知道，当两条位错线相互垂直，也就是柏氏矢量相互垂直的螺型位错相遇并交割后，会在各自的位错线上产生一个刃型割阶，但是刃型割阶的滑移面与螺

型位错的滑移面不平行，割阶的滑移方向与螺型位错的滑移方向垂直。在外力作用下，当螺型位错向前滑移时，割阶只能以攀移方式来配合螺型位错的滑移，在常温或低温下这是不可能的。因此，刃型割阶一定阻碍螺型位错的滑移运动。

试题九解析

一、单选题（每题 2 分，共 32 分）

1. a 2. c 3. d 4. c 5. b 6. a 7. b 8. d 9. c 10. b 11. a 12. d 13. c
14. a 15. c 16. d

二、名词解释（15 分）

1. 攀移：刃型位错除了可以在滑移面上滑移外，还可发生垂直于滑移面的运动，称为攀移。
2. 交滑移：螺型位错在某一滑移面滑移后转到另一临近滑移面上滑移的现象称为交滑移。
3. 上坡扩散：在材料中发生的由低浓度向高浓度方向的扩散现象称为上坡扩散。
4. 再结晶组织：冷塑性变形后的金属在再结晶后组织中形成了具有择优取向的晶粒，称为再结晶组织。
5. 桥氧：硅酸盐结构中的 $[\text{SiO}_4]^{4-}$ 四面体通过公共的氧相连接，这种公共的氧就称为桥氧。

三、（6 分）答：位错矢量等于点阵矢量整数倍的位错为全位错，位错矢量不等于点阵矢量整数倍的位错为不全位错。

几何条件： $\frac{a}{2}[\bar{1}10] = \frac{a}{6}[\bar{1}2\bar{1}] + \frac{a}{6}[\bar{2}11]$ ，符合几何条件；

能量条件：分解前 $b^2 = \frac{a^2(1+1+0)}{4} = \frac{a^2}{2}$

$$\text{分解后 } b_1^2 + b_2^2 = \frac{a^2(1+4+1)}{36} + \frac{a^2(4+1+1)}{36} = \frac{a^2}{3}$$

$b_1^2 + b_2^2 < b^2$ ，符合能量条件。

四、（10 分）答：有加工硬化（应变强化）、固溶强化、弥散强化和细晶强化四种。

加工硬化是指金属晶体在塑性变形过程中，材料的强度随着塑性形变量的增加而增加。加工硬化产生的主要机制有位错塞积、林位错阻力和形成割阶时产生对位错运动的阻力及产生割阶消耗外力所做的功，宏观表现出金属强度提高。

固溶强化指金属中由于溶质原子的存在，使得其强度提高。固溶强化的根本原因在于溶质原子与位错的交互作用，这种交互作用又分为溶质沿位错聚集并钉扎位错的弹性交互作用和化学交互作用两类。

弥散强化依靠弥散分布与金属基体中的细小第二相强化金属。其强化的原因在于细小第二相与位错的交互作用，主要有位错绕过颗粒的 Orowan 机制以及位错切过颗粒机制。

细晶强化是指多晶体的屈服强度随晶粒尺寸的减小而增加。可以用霍尔-佩奇（Hall-Patch）关系表示：

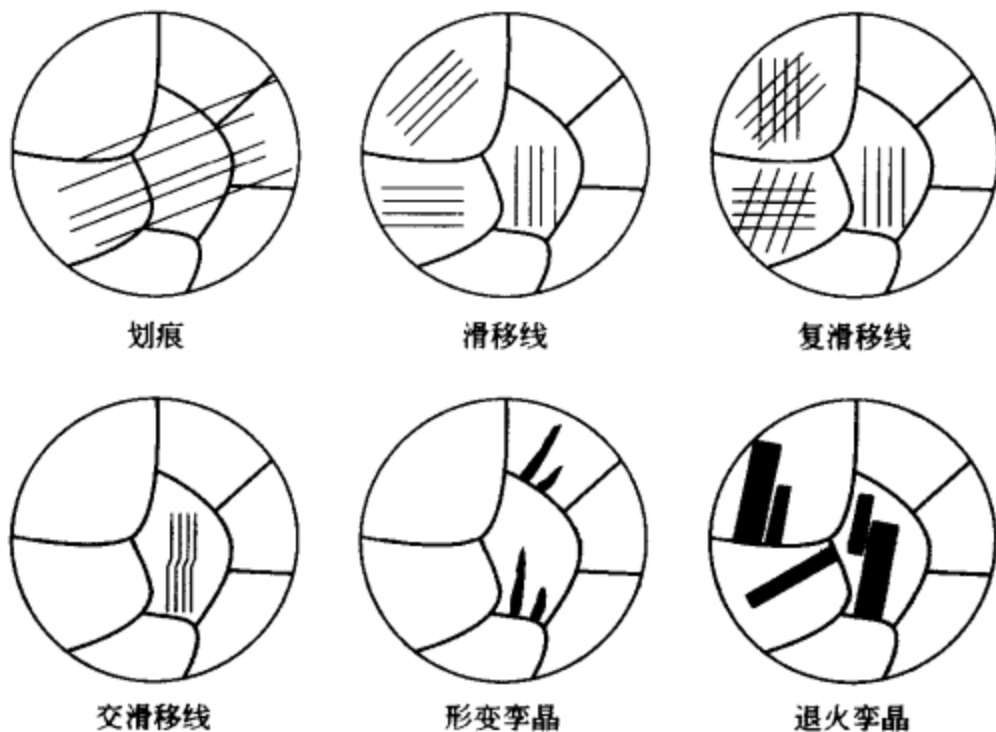
$$\sigma_s = \sigma_i + Kd^{-\frac{1}{2}}$$

式中， σ_i 与 K 是两个与材料有关的常数，显然 σ_i 对应于无限大单晶的屈服强度，而 K 则与晶界有关。

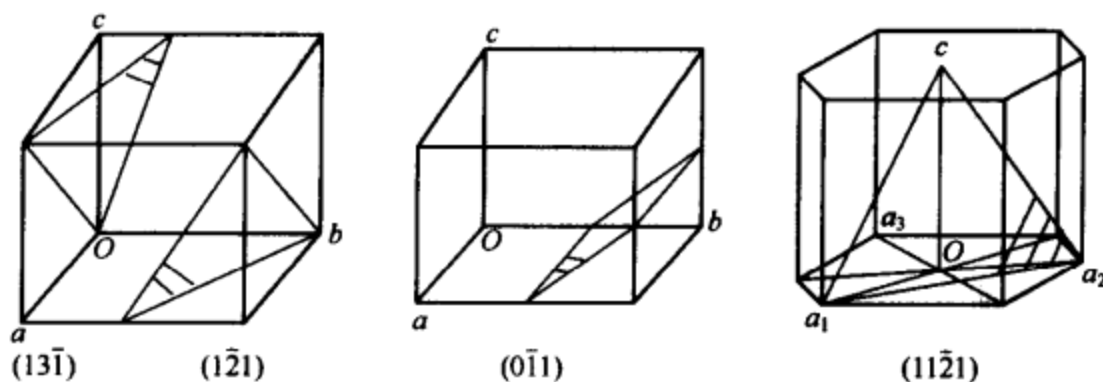
这些强化方式的共同点也就是金属强化的实质，在于增加了位错运动的阻力。

五、(7分) 答：应当在奥氏体状态下进行，尽管碳在奥氏体中的扩散系数小于铁素体状态，但碳在铁素体中的溶解度太小，其浓度梯度也太小。

六、(12分)



七、(8分)



八、(10分) 略。

试题十解析

一、单选题 (每题2分, 共32分)

1. c 2. c 3. d 4. b 5. c 6. c 7. c 8. c 9. b 10. b 11. a 12. a 13. d 14. d 15. a 16. a

二、名词解释 (15分)

1. 扩展位错：扩展位错是一种位错组态，表现为一个全位错分解为两个不全位错，中间夹着一片堆垛层错。

2. 形变织构：塑性变形过程中，随着变形程度的增加，各晶粒的滑移面和滑移方向都会随主形变方向转动，逐渐使多晶体中原来取向互不相同的各个晶粒在空间上出现一定程度的规律性，这种组织状态称为形变织构。

3. 柯肯达尔效应：对于置换型固溶体中溶质原子的扩散，由于溶质和溶剂原子的半径相差不大，原子扩散必须与相邻原子间作置换，能观察到这种结果的试验现象称为柯肯达尔效应。

4. 多边化：经冷塑性变形的金属在高温回复过程中，晶体内沿垂直于滑移面方向排列

并具有一定取向差的位错墙（小角度亚晶界）以及由此产生的亚晶，就是多边化结构，这个过程就是多边化。

5. 拓扑密堆相：由两种不同大小的原子组成的密排结构，具有拓扑学的特征，可以获得比几何密排更致密的结构。拓扑密堆相的结构复杂，且一般是有害相。

6. 电子浓度：电子浓度是指固溶体中价电子数目 e 与原子数目 a 之比。假设溶质原子价为 v ，溶剂原子价为 V ，溶质元素的原子百分数为 x ，则该固溶体的电子浓度为： $e/a = [V(100-x) + vx]/100$ 。

三、(6分) 答：(1) 几何条件满足；能量条件满足。因此此反应可自发进行。

(2) 依次分别为全位错（单位位错）、肖克莱不全位错、弗兰克不全位错。

(3) 反应生成的新位错不能在滑移面上运动。

四、(8分) 答：(1) 滑移和孪生的比较

① 相同点：a. 宏观上，都是切应力作用下发生的剪切变形；b. 微观上，都是晶体塑性变形的形式，是晶体的一部分沿一定晶面和晶向相对另一部分的移动过程；c. 不改变晶体结构；d. 从机制上看，都是位错运动结果。

② 不同点：a. 滑移不改变位向；b. 滑移是全位错运动的结果，而孪生是不全位错运动的结果；c. 滑移变形不均匀；d. 滑移比较平缓，应力应变曲线较光滑、连续；e. 两者发生的条件不同；f. 滑移产生的切变较大（取决于晶体的塑性），而孪生切变较小，取决于晶体结构。

(2) 在塑性变形过程中的作用 滑移可能产生很大的变形量，而孪生只能产生有限的变形，但是通过孪生可以改变晶体的位向，从而可能使得原来无法开动的滑移系能够开动，从而改善晶体的塑性变形能力。

五、(11分) 答：距离小孔越远，变形越小。在小孔周围，变形很大，而离小孔某一距离处的形变量将满足临界变形量的条件，因此晶粒尺寸开始随与小孔距离增加而减小，在临界变形量附近会突然变得非常大，随后恢复原始晶粒尺寸。（图略）

六、(10分) 答：达到稳定状态后，可以认为在有限时间内钢瓶内、外氢压力不变，因此钢瓶内部的氢浓度分布也不随时间发生变化，可以考虑采用扩散第一定律。

$$1. J = -D \frac{\partial C}{\partial x}$$

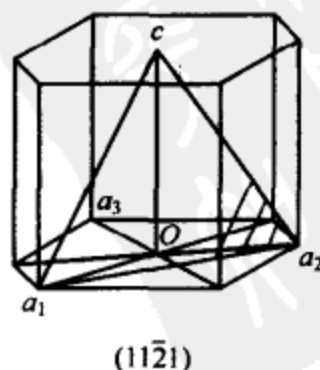
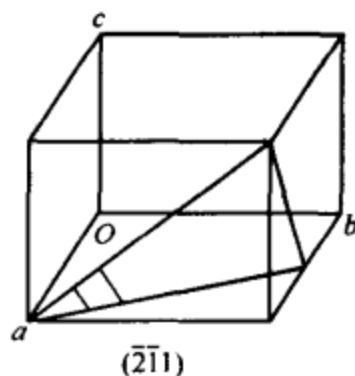
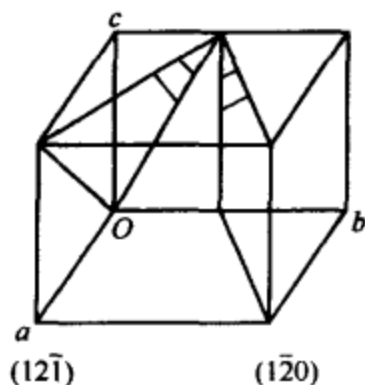
而钢瓶内壁： $C = k \sqrt{p_0}$ ，钢瓶外壁 $C' = 0$ ，

$$\text{因此：} J = -D \frac{\partial C}{\partial x} = -Dk \frac{\sqrt{p_0}}{h}$$

2. 依据上式，可能采取的措施有：改变容器材料，以减小 D 和 k ；降低容器内所储存氢气压力 p ；增加容器壁厚 h 。

3. 略。

七、(8分)



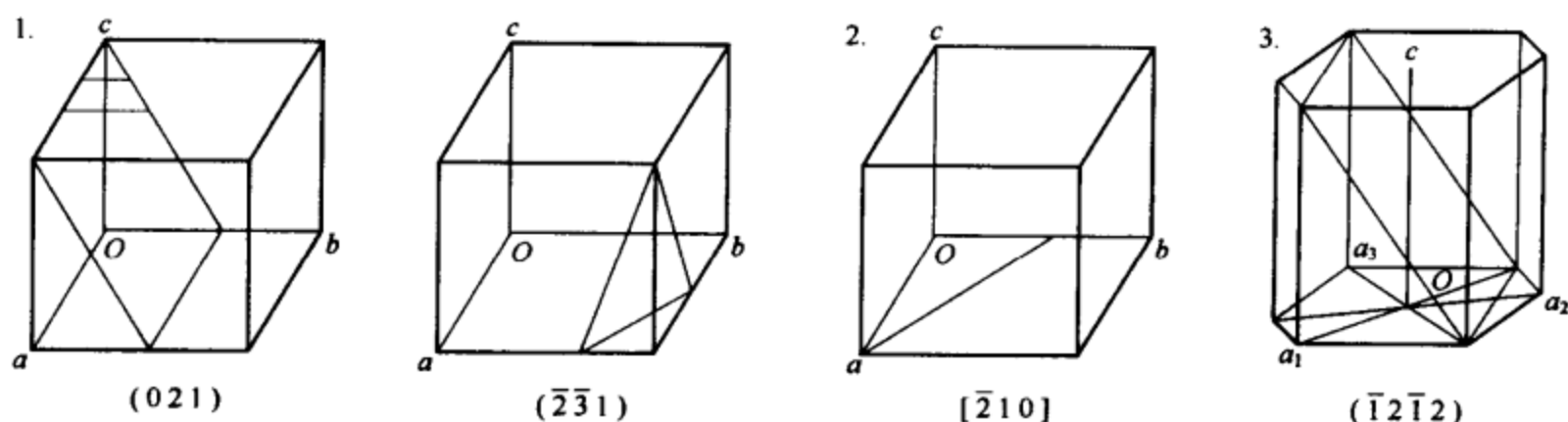
八、(10分) 答: 1. 92° ; 2. $(\bar{1}\bar{1}1)$; 3. 略。

试题十一解析

一、单选题 (每题 2 分, 共 40 分)

1. c 2. a 3. d 4. a 5. b 6. c 7. b 8. a 9. b 10. a 11. c 12. c 13. c
14. d 15. c 16. a 17. b 18. b 19. c 20. d

二、作图题 (8 分)



三、(10分) 1. 答: (112) , $(\bar{1}21)$ 。

2. 答: $[\bar{1}\bar{1}1]$ 。

3. 答: 是, 它与晶带轴的晶向指数复合晶带定律。

4. 答: 是, 因为将赤道绕吴氏网的圆心转 90° 后, 它与一条子午线 (NS 轴) 重合。该晶带轴的晶向指数是 $[100]$ 。

5. 答: 属于 $[001]$ 晶带, 晶带轴的晶向指数是 $[001]$ 。

四、(5分) 答: MgSe 是正常价化合物, 分子式符合化合价规律, 但是具有金属的特性; TiC 是间隙相, 分子式不符合化合价规律, 其结构主要由组成该相的原子尺寸而定; CaO 是离子晶体, 分子式符合化合价规律, 是一种氧化物陶瓷, 不具有金属特性。

五、(8分) 答: (1) 几何条件满足; 能量条件满足。因此此反应可自发进行。

(2) 依次分别为全位错 (单位位错)、肖克莱不全位错、弗兰克不全位错。

(3) 反应生成的新位错不能在滑移面上运动。

六、(12分) 答: 可以采用加工硬化、固溶强化、弥散强化和细晶强化。

加工硬化是指金属晶体在塑性变形过程中, 材料强度随着塑性形变量的增加而增加。加工硬化产生的主要机制有位错塞积、林位错阻力和形成割阶时产生对位错运动的阻力及产生割阶消耗外力所做的功, 宏观表现出金属强度提高。

固溶强化指金属中由于溶质原子的存在, 使得其强度提高。固溶强化的根本原因在于溶质原子与位错的交互作用, 这种交互作用又分为溶质沿位错聚集并钉扎位错的弹性交互作用和化学交互作用两类。

弥散强化依靠弥散分布与金属基体中的细小第二相强化金属。其强化的原因在于细小第二相与位错的交互作用, 主要有位错绕过颗粒的 Orowan 机制以及位错切过颗粒机制。

细晶强化是指多晶体的屈服强度随晶粒尺寸的减小而增加。可以用霍尔-佩奇 (Hall-Patch) 关系表示:

$$\sigma_s = \sigma_i + Kd^{-\frac{1}{2}}$$

式中, σ_i 与 K 是两个与材料有关的常数, 显然 σ_i 对应于无限大单晶的屈服强度, 而 K

则与晶界有关。

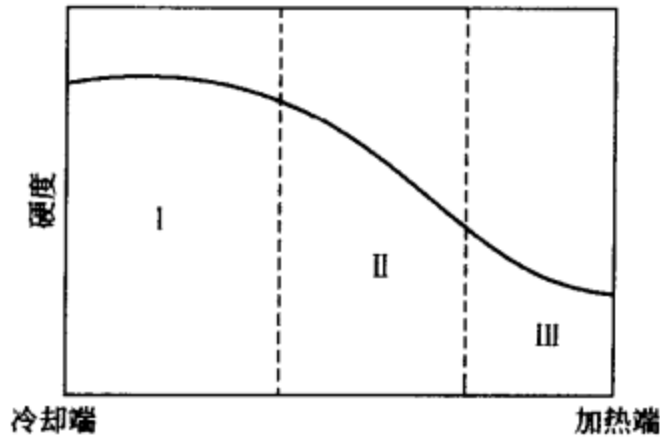
这些强化方式的共同点也就是金属强化的实质，在于增加了位错运动的阻力。

七、(9分) 答：1. $\frac{a}{2} [1\bar{1}0]$ 。

2. $[11\bar{2}]$ 、 $[1\bar{1}0]$ 。

3. $[1\bar{1}0]$ 、 $[1\bar{1}0]$ 。

八、(8分) 答：沿棒长度的硬度分布曲线示意于图：



在整根棒的长度上，由于温度不同，经历了回复、再结晶和晶粒长大三个过程。

第Ⅰ区域， $T < T_R$ ，仅发生回复，硬度略有下降。

第Ⅱ区域，发生再结晶，硬度大大下降，且随温度升高，同样 1h 内完成再结晶的体积百分数增大，硬度随之下降。

第Ⅲ区域，晶粒长大，晶界对位错运动阻碍较小，故硬度进一步降低。

第三部分

硕士研究生入学考试试题及参考答案

南京航空航天大学 2004 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

第一部分

一、填空题 (每空 0.5 分, 共 8 分)

1. 一个面心立方晶胞中共有 _____ 个原子, 其致密度为 _____, 配位数为 _____, 其八面体间隙比四面体间隙 _____。
2. 晶体的空间点阵分属于 _____ 大晶系, 其中正方晶系点阵常数的特点为 _____, 请列举除立方和正方晶系外其他任意三种晶系的名称 _____、_____、_____。铜的晶体结构属于 _____ 空间点阵。
3. 熔晶转变反应式可写为 _____; 合晶转变反应式可写为 _____; 包晶转变反应式可写为 _____。
4. 成分过冷区从小到大, 其固溶体的生长形态分别为 _____、_____和 _____。

二、简答、计算与作图 (37 分)

1. 晶粒大小对材料的力学性能有何影响? 在实际生产中常采用哪些措施来控制晶粒尺寸? (4 分)
2. 比较间隙固溶体、间隙相和间隙化合物的异同点。(4 分)
3. 晶核长大的动力学条件是什么? 长大机制有哪几种? (4 分)
4. 绘制一个二元共晶相图, 并作出在其共晶温度 T 下的自由能-成分曲线 (即 $G-X$ 曲线)。(4 分)
5. 简述铸锭的组织及其形成机理。(5 分)
6. 在三元合金相图中, 常见的四相平衡转变有哪几种类型? 分别在投影图及垂直截面图上示意画出各四相平衡转变的位置特征, 并写出各四相平衡转变的反应式及其转变前后的三相平衡反应式。(12 分)
7. 铁的点阵常数是 2.86\AA ($1\text{\AA}=0.1\text{nm}$), 相对原子质量是 55.84, 用阿伏伽德罗常数 (6.023×10^{23}) 计算其密度。(4 分)

三、名词解释 (4 分)

1. 同素异构转变
2. 相

四、画出立方晶系中具有下列密勒指数的晶面和晶向: $(1\bar{1}1)$ 、 $(\bar{1}\bar{1}2)$ 晶面和 $[2\bar{1}0]$ 、 $[\bar{3}21]$ 晶向。(6 分)

五、证明均匀形核的临界形核功 ΔG^* 等于表面能的 $1/3$ (注: 单位面积表面能用 σ 表示, 单位体积固相与液相的自由能差值用 ΔG_v 表示)。(5 分)

- 六、1. 画出 Fe-Fe₃C 相图，并写出各关键点的温度及习惯标注的字母，标明各相区。(6 分)
2. 画出含碳 1.0% 的铁碳合金的冷却曲线，并标明其组织变化示意图；在室温下，它由什么相组成，各相的比例是多少？(9 分)

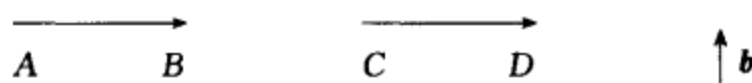
第二部分

一、名词解释 (15 分，每题 3 分)

1. 点阵畸变 2. 回复 3. 滑移 4. 短路扩散 5. 扩展位错

二、简答题 (32 分，每题 4 分)

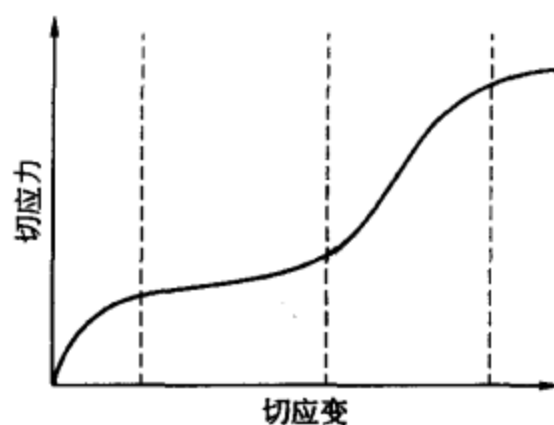
1. 请解释：在一定温度下，晶体中为何存在一定热力学平衡数量的点缺陷。
2. 说明小角度晶界的两种简单形式及对应的位错组态。
3. 说明扩散系数的主要影响因素及其对扩散系数的影响。
4. 已知两个刃型位错，A、B、C、D 点被钉扎，如外加切应力足够大，请画出这对位错的开动、增殖过程。



5. 低碳钢渗碳为何选在奥氏体区进行，而不选在铁素体区进行，请简述原因。
6. 说明影响冷塑性金属再结晶的主要因素及其对再结晶速度的影响。
7. 说明金属产生孪生变形的条件。
8. 画图描述位错的交滑移过程。

三、综合题 (28 分，每题 7 分)

1. 分析反应扩散速度的影响因素及其对扩散层深度的影响过程。
2. 说明铝合金过饱和固溶体时效处理时第二相沉淀析出的强化过程。
3. 分析金属冷塑性变形的大小对再结晶后晶粒尺寸的影响。



4. 单晶体加工硬化的应力-应变曲线如图，请说明其塑性变形各阶段的名称，并分析其硬化的位错机制。

南京航空航天大学 2005 年攻读硕士学位 研究生入学考试试题

一、名词解释 (每题 3 分，共 24 分)

1. 负离子配位多面体 2. 有序固溶体 3. 相 4. 面角位错 5. 包申格效应
6. 黏弹性 7. 伪共晶 8. 应变时效

二、简答题 (共 96 分)

1. 原子间的键合有哪几种？金属为什么具有良好的延展性，而离子晶体一般熔点和硬度均较高？(5 分)
2. 高分子链结构分为近程结构和远程结构，它们各自包括哪些内容？(5 分)

3. 请描述刚玉的晶体结构及其特征。(4 分)
4. 什么是高分子的聚集态结构? 怎样理解晶态高聚物的结构?(5 分)
5. 按照硅氧四面体在空间的组合情况, 硅酸盐结构可以分成哪几类?(5 分)
6. 晶体的宏观对称元素有哪几种?(4 分)
7. 什么是间隙固溶体? 形成间隙固溶体有哪些条件?(5 分)
8. 常见金属晶体结构中哪些是密排结构? 它们能不能分别看作是一种独立的布拉菲点阵? 为什么?(4 分)
9. 为什么点缺陷在热力学上是稳定的, 而位错则是不平衡的晶体缺陷?(5 分)
10. 简单说明位错滑移运动的特点。(6 分)
11. 简述晶界的特性。(6 分)
12. 在晶体中, 原子在其平衡位置作热振动, 并会从一个平衡位置跳到另一个平衡位置, 即发生扩散。请问其扩散的机制可概括为哪几种?(4 分)
13. 什么是弹性变形? 并用双原子模型来解释其物理本质。(5 分)
14. 为什么滑移面和滑移方向往往是金属晶体中原子排列最密的晶面和晶向?(4 分)
15. 简述孪生变形的特点。(3 分)
16. 冷变形金属发生再结晶的驱动力是什么? 变形程度对再结晶温度有何影响?(4 分)
17. 常压下, 冰、水、汽三相能够共存吗? 为什么?(3 分)
18. 简述金属凝固的驱动力、必要条件和均匀形核。(3 分)
19. 凝固过程中控制晶粒大小的措施有哪些?(3 分)
20. 高分子结晶具有不完全性, 影响高分子结晶能力的结构因素有哪些?(4 分)
21. 在三元合金相图中, 常见的四相平衡转变有哪几种类型? 并写出各四相平衡转变的反应式。(3 分)
22. 什么是成分过冷? 它对液-固界面的形貌有何影响?(3 分)
23. 铸锭的典型宏观组织由哪几部分组成?(3 分)

三、计算题 (共计 8 分)

1. γ -Fe 在略高于 910°C 时的点阵常数 $a=0.3633\text{nm}$, 求上述温度时 γ -Fe 的原子半径 R 。(3 分)
2. 某金属其刚低于熔点的扩散系数为 $10^{-7}\text{cm}^2/\text{s}$, 假如 $D_0=1\text{cm}^2/\text{s}$, 试确定在该金属熔点一半温度时的扩散系数 (均取绝对温度)。(5 分)

四、作图题 (共计 22 分)

1. 画出立方晶系中具有下列密勒指数的晶面和晶向: $(\bar{1}1\bar{3})$ 晶面和 $[32\bar{1}]$ 晶向。(4 分)
2. 画图说明弗兰克-瑞德源的位错增殖机制。(5 分)
3. 示意画出线性非晶态高分子的形变-温度曲线。(3 分)
4. 画出金属单晶体的典型应力-应变曲线 (即加工硬化曲线)。(3 分)
5. 画出 Fe-Fe₃C 相图, 写出各关键点的温度及习惯标注的字母, 并表明各相区。(7 分)

南京航空航天大学 2006 年攻读硕士学位 研究生入学考试试题

一、名词解释 (每题 3 分, 共计 12 分)

1. 置换固溶体
2. 反应扩散
3. 区域熔炼
4. 扩展位错的束集

二、简答题 (共计 70 分)

1. 什么是金属键? 金属为什么具有良好的导电性和导热性? (4 分)
2. 高分子链结构分为近程结构和远程结构, 它们各自包含哪些内容? (6 分)
3. 在面心立方晶体中有下述位错反应: (5 分)

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

指出每一位错的性质类型, 并判断该反应能否进行。

4. 写出三元系中四相包共晶平衡转变反应式, 并说明在其四相平衡平面上、下分别包含几个三相平衡棱柱? (4 分)

5. 试比较单晶铝和多晶铝的加工硬化特性。 (6 分)

6. 什么是大分子链的柔性? 影响大分子链的柔性有哪些因素? (6 分)

7. 何谓上坡扩散? 其产生的条件是什么? (5 分)

8. 什么是能量起伏? 它与晶体均匀形核有什么关系? (4 分)

9. 什么是成分过冷? 它对液-固界面的形貌有何影响? (4 分)

10. 什么是负离子配位多面体? 并说明氯化钠晶体中的负离子配位多面体。 (6 分)

11. 对称是晶体的基本性质之一, 图 1 表示晶体的哪种对称关系? 并说明其含义。 (4 分)

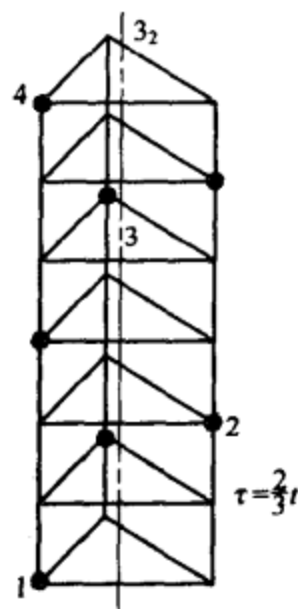


图 1

12. 设 A、B、C 三元共晶相图中 α 、 β 、 γ 三种固溶体分别是以组元 A、B、C 为溶剂的, 图 2 是该三元共晶相图的综合投影图, 请问综合投影图中区域 I、II、III、IV、V、VI 在室温下分别是什么组织? (6 分)

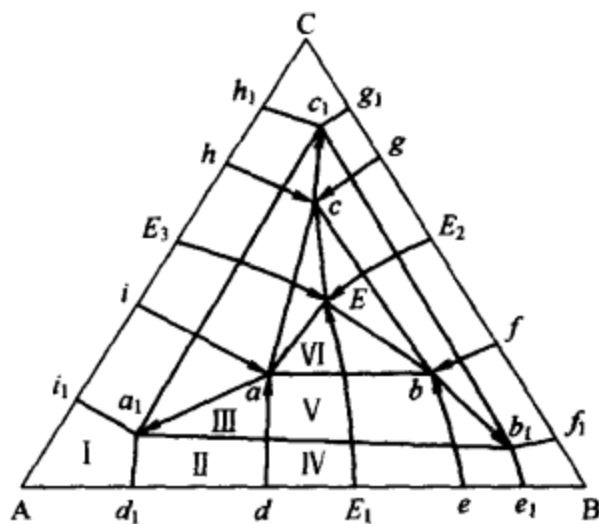


图 2

元 A、B、C 为溶剂的, 图 2 是该三元共晶相图的综合投影图, 请问综合投影图中区域 I、II、III、IV、V、VI 在室温下分别是什么组织? (6 分)

13. 陶瓷晶体的理论屈服强度很高, 但其实际拉伸强度或断裂强度却很低, 而压缩强度又比其拉伸强度约高一个数量级, 简述其原因。 (6 分)

14. 简述再结晶结束后晶粒正常长大的影响因素。 (4 分)

三、计算与作图题 (共计 28 分)

1. 画出立方晶系中具有下列密勒指数的晶面和晶向: $(2\bar{1}3)$ 晶面和 $[1\bar{2}\bar{1}]$ 晶向。 (6 分)

2. 画出铸锭典型宏观组织示意图。 (6 分)

3. (1) 画出按组织标注 Fe-Fe₃C 相图, 并写出该相图中所有三相平衡转变的类型和转变反应式。 (8 分)

- (2) 画出含碳 1.3% 的铁碳合金的冷却曲线及其室温下组织示意图; 在室温下, 它由什么相组成, 各相的比例是多少? (8 分)

四、有两种激活能分别为 $Q_1 = 82\text{kJ/mol}$ 和 $Q_2 = 248\text{kJ/mol}$ 的扩散反应。 (10 分)

- (1) 观察温度从 200℃ 升高到 600℃ 时对这两种扩散的影响, 并对结果作出评述;

- (2) 指出影响扩散的因素有哪些?

五、有一面心立方单晶体, 在 (111) 面滑移的柏氏矢量为 $\frac{a}{2}[10\bar{1}]$ 的右螺型位错,

与在 $(1\bar{1}1)$ 面上滑移的柏氏矢量为 $\frac{a}{2}[011]$ 另一右螺型位错相遇于此两滑移面交线并形成一个新的全位错。(15 分)

1. 说明新生成的全位错属哪类位错? 该位错能否滑移? 为什么?

2. 若沿 $[010]$ 晶向施加大小为 17.2MPa 的拉应力, 试计算该新生全位错单位长度的受力大小, 并说明方向 (设晶格常数为 $a=0.2\text{nm}$)。

六、有人将工业纯铝在室温下进行大变形量轧制, 制得一批薄片试样, 所测得的室温强度 σ 表明试样呈冷加工状态; 然后将其他剩余试样加热到 100°C 放置 12 天, 再冷却后测得其室温强度比 σ 明显降低。试验者查得工业纯铝的再结晶温度 T_R 为 150°C , 所以排除了发生再结晶的可能性。请解释上述现象, 并说明如何证明你的设想。(15 分)

东南大学 2004 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

一、选择题 (单项选择, 每题 2 分, 共 40 分)

1. A、B 两晶体, 如果它们的
 - a. 空间点阵相同, 则两者的晶体结构相同
 - b. 所属的晶系相同, 则两者的晶体结构相同
 - c. 晶体结构相同, 则两者的点阵常数相同
 - d. 晶体结构相同, 则两者的空间点阵相同
2. 在正方晶系中, 与 (112) 等价的晶面是:
 - a. (121)
 - b. (211)
 - c. $(\bar{1}12)$
 - d. $(\bar{1}21)$
3. 配位数是指晶体结构中
 - a. 每个原子周围的原子数
 - b. 每个原子周围最邻近的原子数
 - c. 每个原子周围的相同原子数
 - d. 每个原子周围最邻近的和次邻近的原子数之和
4. 密排六方和面心立方均属密排结构, 它们的不同点是:
 - a. 晶胞选取方式不同
 - b. 原子配位数不同
 - c. 密排面上, 原子排列方式不同
 - d. 原子密排面的堆垛方式不同
5. 在立方晶系中, 与 (101) 、 (111) 属同一晶带的晶面是:
 - a. (110)
 - b. (011)
 - c. $(\bar{1}10)$
 - d. (010)
6. TiC 和 NaCl 具有相同的晶体结构, 但它们不属于同一类中间相, 这是因为:
 - a. TiC 是陶瓷, NaCl 是盐
 - b. NaCl 符合正常化合价规律, TiC 不符合正常化合价规律
 - c. TiC 中的电子浓度高
 - d. NaCl 的致密度高
7. 纯金属均匀形核时, 临界半径 r^* 与
 - a. 该金属的熔点有关, 熔点越高, r^* 越小
 - b. 与该金属的表面能有关, 表面能越高, r^* 越小
 - c. 与过冷度有关, 过冷度越大, r^* 越小
 - d. 与过冷度有关, 过冷度越大, r^* 越大
8. 在三元系中, 杠杆定理的用途是:
 - a. 在水平截面上计算三相平衡时各相的相对百分数
 - b. 在垂直截面上计算三相平衡时各相的相对百分数

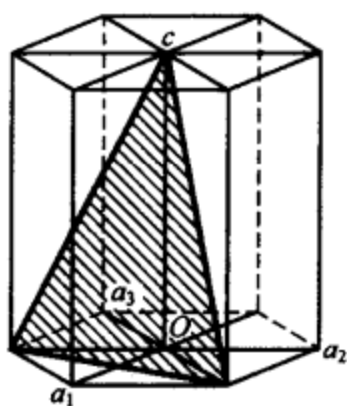
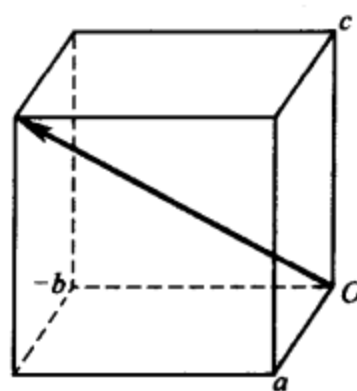
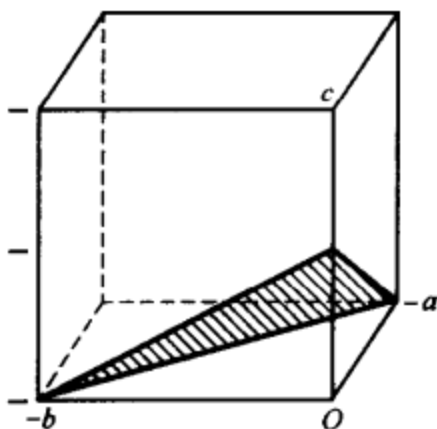
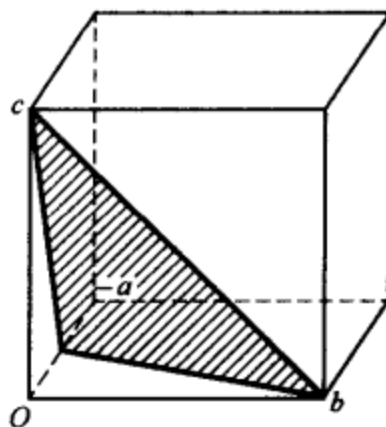
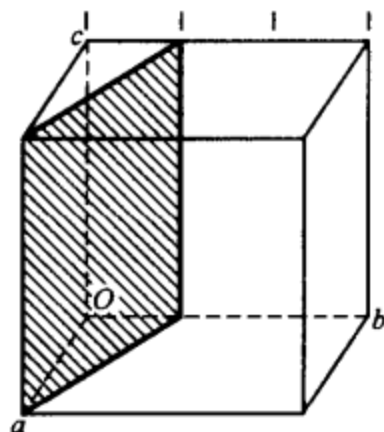
- c. 在水平截面上计算两相平衡时各相的相对百分数
d. 在垂直截面上计算两相平衡时各相的相对百分数
9. 在下列哪一种情况下平衡分配系数 k_0 和有效分配系数 k_e 相等:
a. 正常凝固 b. 快速凝固
c. 定向凝固 d. 边界层与液相区部分混合条件下的凝固
10. 指出下列四个六方晶系的晶面指数中, 哪一个是错误的:
a. $(2\bar{3}12)$ b. $(1\bar{1}02)$ c. $(3\bar{1}\bar{2}2)$ d. $(11\bar{1}2)$
11. 在三元系中, 四相平衡共晶相图和四相平衡包晶相图的四相平衡区都是三角形, 两者区别是:
a. 共晶相图四相区中液相成分点在三角形内, 而包晶相图四相区液相成分点在三角形顶角上
b. 包晶相图四相区中液相成分点在三角形内, 而共晶相图四相区液相成分点在三角形顶角上
c. 共晶相图四相区是等边三角形; 包晶相图的四相区不是等边三角形
d. 包晶相图四相区是等边三角形; 共晶相图的四相区不是等边三角形
12. 当 $\Delta P=0$ 时, 根据相律:
a. 单元系中两相平衡反应可以在某个温度区间内进行
b. 二元系中的三相平衡反应可以在某个温度区间内进行
c. 三元系中的三相平衡反应可以在某个温度区间内进行
d. 三元系中的四相平衡反应可以在某个温度区间内进行
13. 下列各种偏析中, 哪一种能用热处理(均匀化退火)方法消除?
a. 正常偏析 b. 比重偏析 c. 反偏析 d. 枝晶偏析
14. 在理想的热力学平衡态, 下列哪类缺陷是不应存在的:
a. 空位、晶界 b. 位错、晶界 c. 空位、位错 d. 空位、位错、晶界
15. 亚晶界一般是由位错构成的, 通常
a. 亚晶界位向差越大, 亚晶界上的位错密度越高
b. 亚晶界位向差越大, 亚晶界上的位错密度越低
c. 亚晶界上的位错密度高低与亚晶界位向差关系不大
d. 以上都不对
16. 有两根同向右螺位错线, 各自的能量都为 E , 当它们无限靠近时, 总能量为:
a. 0 b. E c. $2E$ d. $4E$
17. 高温下晶粒正常长大时, 晶界迁移将受到第二相颗粒的阻碍:
a. 第二相含量越多, 颗粒越大, 阻力越大
b. 第二相含量越少, 颗粒越大, 阻力越大
c. 第二相含量越多, 颗粒越小, 阻力越大
d. 第二相含量越少, 颗粒越小, 阻力越大
18. 某 FCC 单晶体塑变时出现两组平行的交叉滑移线, 则塑性形变处于:
a. 易滑移阶段 b. 线性硬化阶段 c. 动态回复阶段 d. 抛物线硬化阶段
19. 再结晶过程包含晶核的形成与核的长大过程:
a. 形核与长大的驱动力都来源于形变储存能
b. 形核与长大的驱动力都来源于晶界能
c. 形核的驱动力来源于形变储存能, 长大的驱动力来源于晶界能

d. 形核与长大的驱动力都来源于外部加热所提供的能量

20. 纯铁可在某一相同的温度下（如 900°C ）渗碳或渗铬，一般来说：

- a. 渗碳速度比渗铬快 b. 渗铬速度比渗碳快
c. 渗碳速度与渗铬差不多 d. 无法比较

二、写出下列各图中所标的晶面或晶向的晶面指数或晶向指数。（10 分）

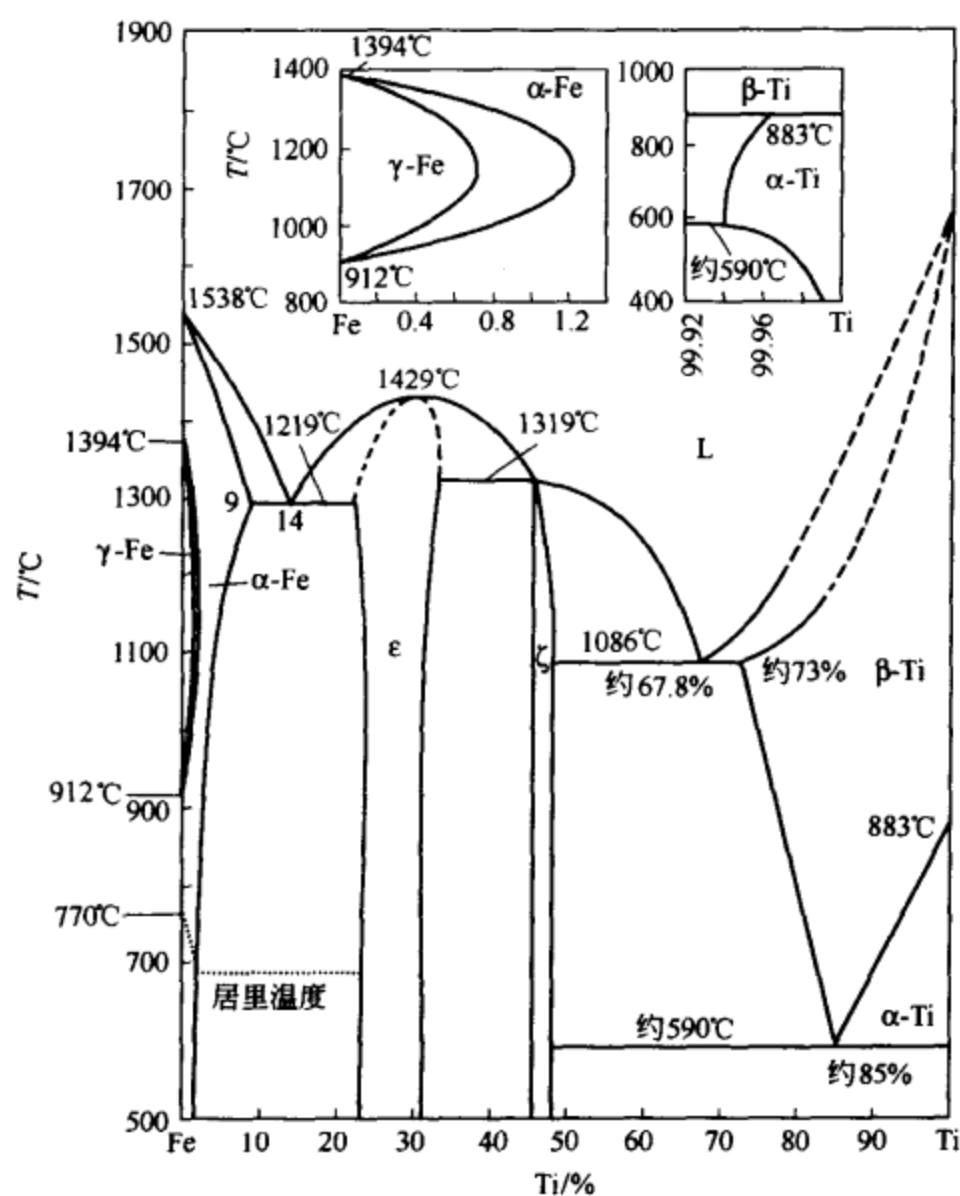


三、回答下列问题（18 分）

1. 纯金属凝固时，均匀形核和非均匀形核的形核功大小是否相同？一般情况下两者哪一个大？为什么？什么情况下两者相同？
2. 正常凝固和平衡凝固是否相同？说明两者的相同或不同之处。
3. 纯金属凝固时是否会出现成分过冷？为什么？
4. 单相固溶体正常凝固时是否会出现成分过冷？为什么？
5. 对于金属-金属型共晶，决定其形貌是片状或是棒状的因素是什么？

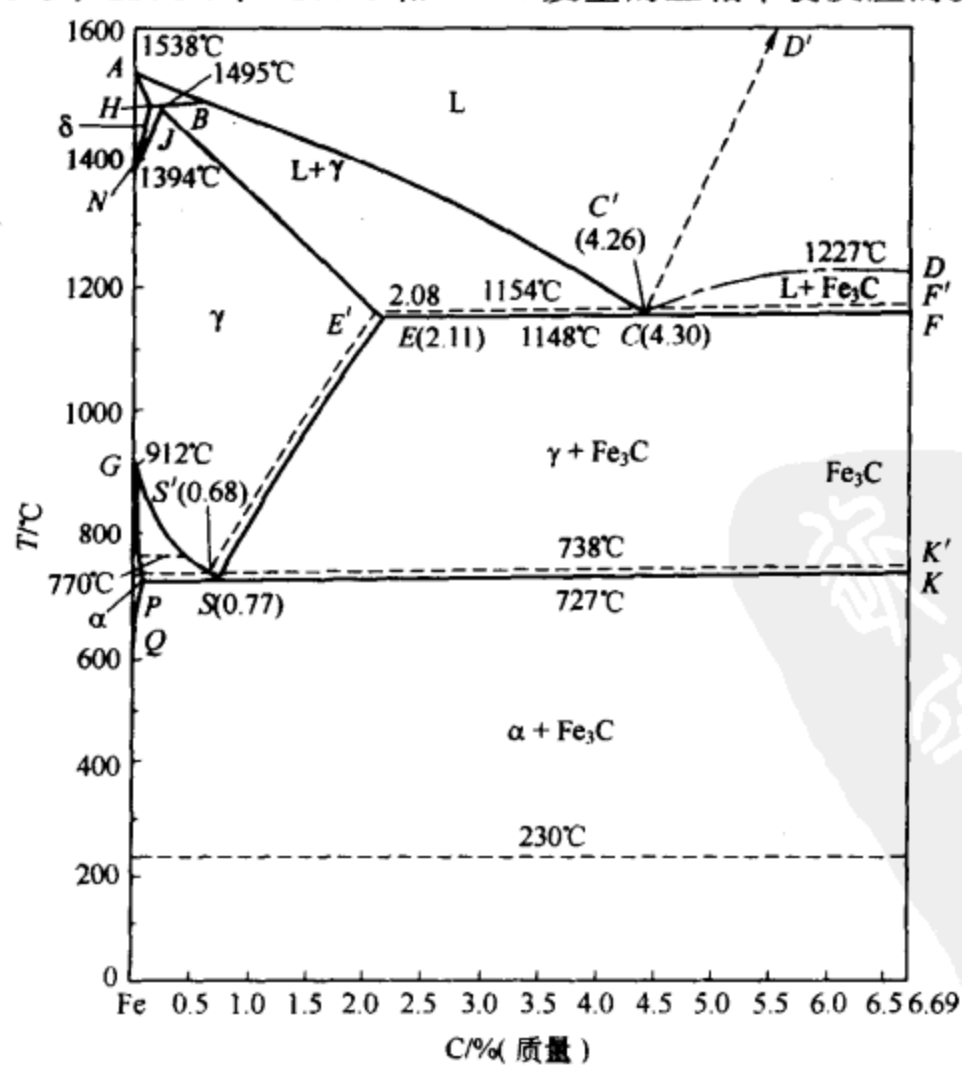
四、根据下图所示的 Fe-Ti 二元相图：（8 分）

1. 写出在 1291°C 、 1319°C 、 1086°C 、 590°C 发生的三相平衡反应的反应式；
2. 叙述含 Ti 为 60% 的 Fe-Ti 合金从高于液相线的温度平衡冷却过程中的各种转变（可用热分析曲线表示），并写出该合金的室温组织。



五、根据所示的铁碳平衡相图，回答以下问题（10分）

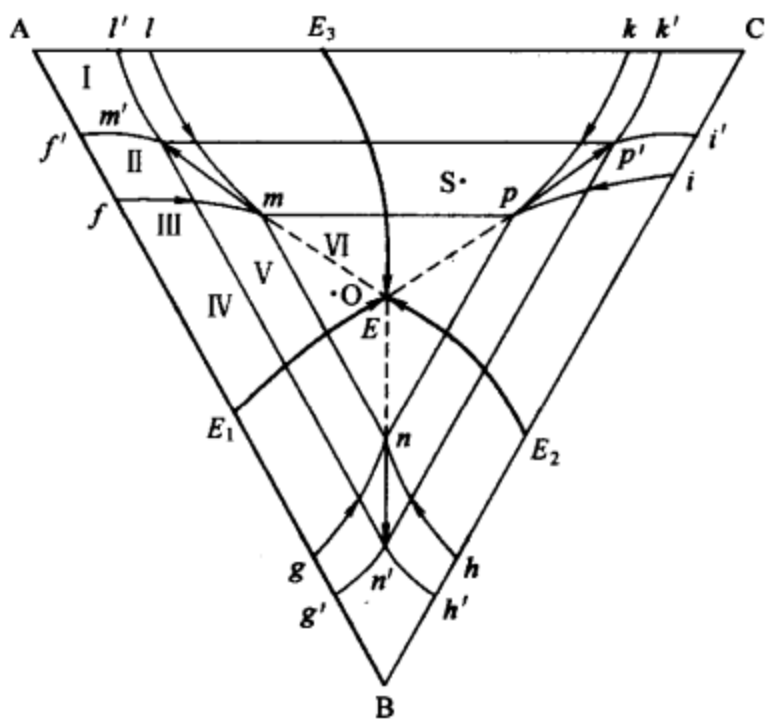
1. 写出在 1495°C、1154°C、1148°C 和 727°C 发生的三相平衡反应的反应式；



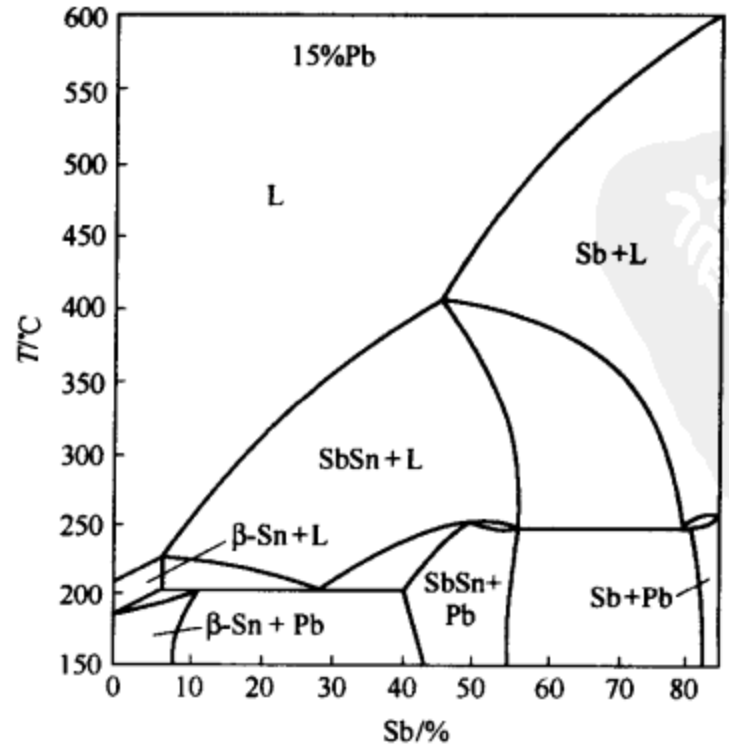
2. 按亚稳态相图，叙述含碳量为 0.4% 的 Fe-C 合金从高于液相线温度平衡冷却到室温时，发生的两相和三相平衡转变（可用热分析曲线表示），并画出室温组织的示意图；
3. 计算含碳量为 1.5% 的 Fe-C 合金中二次渗碳体的百分数。

六、根据下图所示的三元相图的投影图，回答以下问题（10 分）

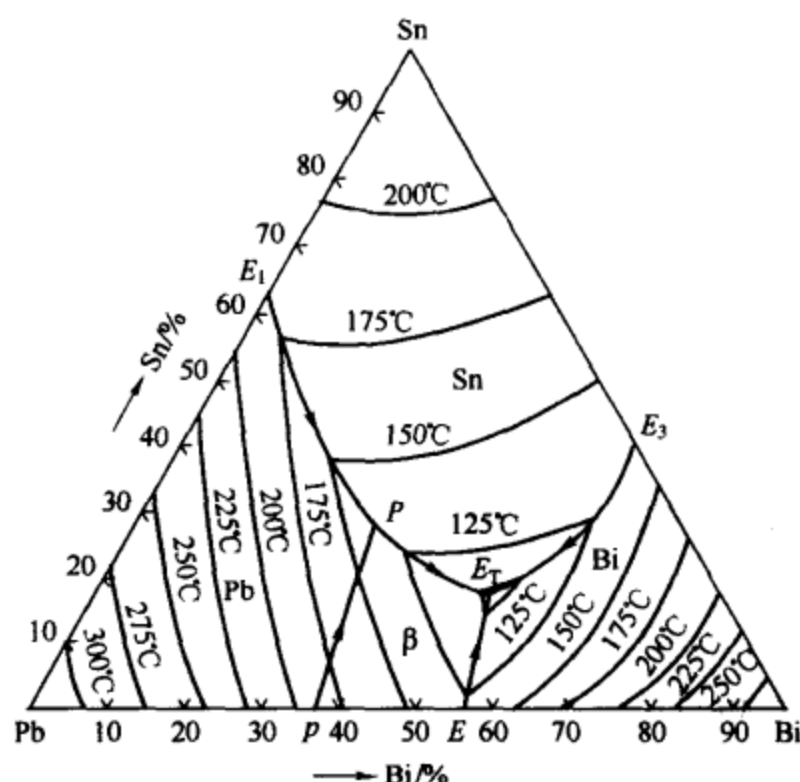
1. 该相图中的四相平衡区在什么范围内？（用字母表示）
2. 组成该三元系的三个二元系中是否都有三相平衡反应？若有，则写出每个二元系中三相平衡反应的反应式；
3. 写出图中成分为 O 的合金在平衡冷却过程中发生四相平衡反应的反应式；并说明在四相平衡反应前合金所在的相区及发生的平衡转变的反应式；
4. 图中成分为 S 的合金在平衡冷却过程中是否会发生四相和三相平衡反应？若有则写出相应的反应式；
5. 写出合金 O 和 S 在室温下的平衡组织。



七、图中所示的含 Pb 为 15% 的 Sn-Sb-Pb 三元相图的垂直截面中，温度为 200℃ 的水平线上发生什么样的平衡反应？写出反应式。在水平线的上方和下方各有几个三相区？写出每个三相区的组成相。（5 分）



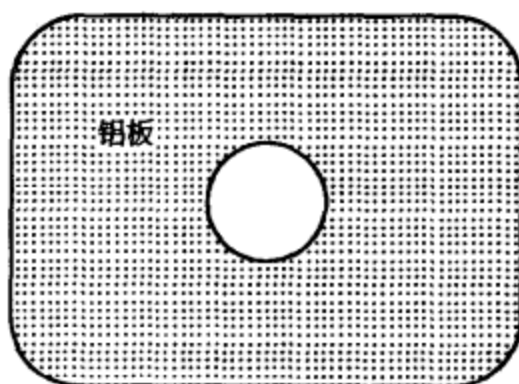
八、根据下方所示的 Pb-Bi-Sn 三元相图液相面投影图，写出在 P 和 E_T 两点发生的四相平衡反应的反应式。（4 分）



九、若平均晶粒直径为 1mm 和 0.04mm 的纯铁的屈服强度分别为 100MPa 和 250MPa，则平均晶粒直径为 0.01mm 的纯铁的屈服强度为多少？（8 分）

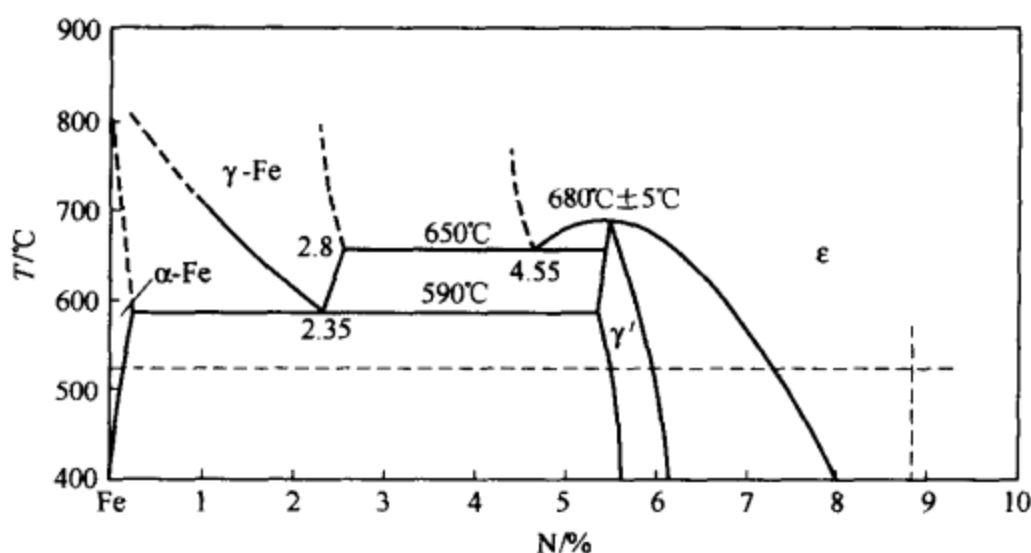
十、对金属材料而言，在材料中引入细小弥散分布的第二相颗粒是强化材料的重要方式，请根据所学知识，从位错运动的角度解释其原因。（8 分）

十一、有一方形纯铝板零件，加工时在其中部冷冲出一如图所示的小圆孔。当该零件在再结晶温度下进行退火处理后，小孔周围的组织形貌将发生怎样的变化，用示意图表示，并进行适当的解释。（11 分）



十二、试分析面心立方金属中，在 (111) 面上运动的 $b = \frac{a}{2}[\bar{1}10]$ 的螺型位错受阻时，能否通过交滑移转移到 $(\bar{1}\bar{1}1)$ 、 $(1\bar{1}1)$ 、 $(11\bar{1})$ 面中的某个面上继续运动？说明理由。（8 分）

十三、纯铁通过渗氮可以在表面形成一个硬化层，从而获得较好的耐磨性和抗疲劳损伤性能。假设渗氮在 520°C 进行，会发生反应扩散，Fe-N 相图如下所示。考虑表面氮浓度为 8.8%，试画出渗层的氮量分布曲线，标出相区。（10 分）

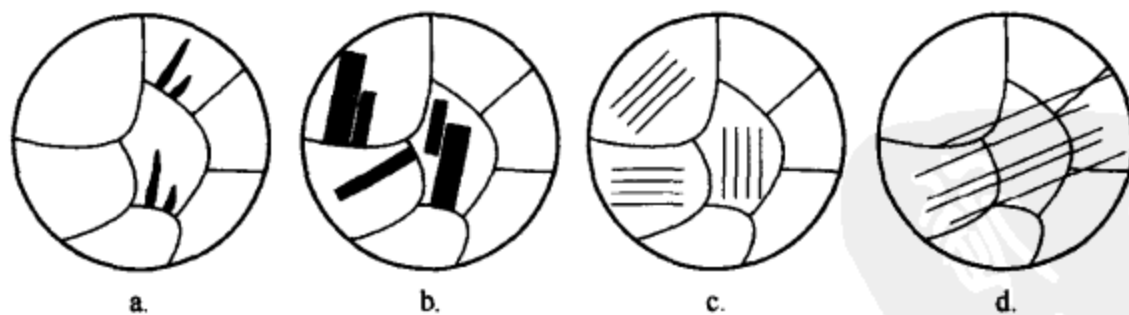


东南大学 2005 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

一、选择题（单项选择，每题 2 分，共 40 分）

- 两晶体的空间点阵相同，则：
 - 它们的晶体结构相同
 - 它们的对称性相同
 - 它们所属的晶系相同
 - 它们所属的空间群相同
- 配位数与致密度及间隙半径之间的关系是：
 - 配位数越高，致密度越低
 - 配位数越高，致密度越高
 - 配位数越高，间隙半径越大
 - 配位数越高，间隙半径越小
- 指出下列四个六方晶系的晶面指数中，哪一个是错误的：
 - $(1\bar{3}22)$
 - $(0\bar{1}12)$
 - $(03\bar{1}2)$
 - $(3\bar{1}22)$
- 间隙相和间隙固溶体的区别在于：
 - 间隙相的结构比间隙固溶体简单
 - 间隙相中原子结合符合化合价规律，间隙固溶体不符合化合价规律
 - 间隙固溶体中间隙原子在溶剂晶格的间隙中，间隙相中原子在正常原子位上
 - 间隙相中有点阵畸变；间隙固溶体中没有点阵畸变
- A、B 二组元形成共晶系，则：
 - 具有共晶成分的合金铸造工艺性能最好
 - 具有亚共晶成分的合金铸造工艺性能最好
 - 具有过共晶成分的合金铸造工艺性能最好
 - 不发生共晶转变的合金铸造工艺性能最好
- Cu_5Zn_8 、 Cu_9Al_4 、 $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ 虽然化学成分不同，但晶体结构相同，均属 γ -黄铜结构，这是因为：
 - Zn、Al、Sn 三种元素的原子半径相近
 - 这三种中间相的电子浓度相同
 - Zn、Al、Sn 三种元素的电负性相近
 - Zn、Al、Sn 三种元素的晶体结构相同
- 与 (021) 和 (121) 同属一晶带的有：
 - (112)
 - $(\bar{2}21)$
 - (110)
 - (221)
- 几何密排和拓扑密排均属密排结构，两者的不同在于：

- a. 几何密排的致密度比拓扑密排高
 - b. 几何密排中的原子配位数比拓扑密排中的原子配位数高
 - c. 几何密排的晶体结构比拓扑密排复杂
 - d. 几何密排是由同种原子组成的密排结构，而拓扑密排是两种原子组成的密排结构
9. 晶粒尺寸和形核率 N 、线长大速度 v_g 之间的关系是：
- a. N 越大，晶粒尺寸越大
 - b. N/v_g 越大，晶粒尺寸越大
 - c. v_g/N 越大，晶粒尺寸越大
 - d. v_g 越小，晶粒尺寸越大
10. 硅酸盐晶体结构中的基本结构单元是：
- a. 由硅和氧组成的硅氧多面体
 - b. 由硅和氧组成的 $[\text{SiO}_6]^{6-}$ 六面体
 - c. 由硅和氧组成的 $[\text{SiO}_4]^{4-}$ 四面体
 - d. 由二氧化硅组成的 $[\text{Si}_2\text{O}_8]^{8-}$ 八面体
11. 下面列出的是铁碳合金中可能出现的组织，其中哪一种不属于亚稳态？
- a. 铁素体
 - b. 马氏体
 - c. 贝氏体
 - d. 索氏体
12. 在三元相图中，连接线是指：
- a. 在水平截面上，三相平衡时各相成分点之间的连线
 - b. 在液相面投影图上，两相平衡时各相成分点之间的连线
 - c. 在综合投影图上，三相平衡时各相成分点之间的连线
 - d. 在水平截面上，两相平衡时各相成分点之间的连线
13. 运用区域熔炼方法可以：
- a. 使材料的成分更均匀
 - b. 可以消除晶体中的微观缺陷
 - c. 可以消除晶体中的宏观缺陷
 - d. 可以提高金属的纯度
14. 若晶体在两个滑移系之间能实现交滑移，则这两个滑移系：
- a. 滑移面相同，滑移方向不同
 - b. 滑移方向相同，滑移面不同
 - c. 滑移面和滑移方向都不同
 - d. 滑移面和滑移方向都相同
15. 某 FCC 单晶体塑变时出现一组平行的滑移线，则塑变处于：
- a. 易滑移阶段
 - b. 线性硬化阶段
 - c. 动态回复阶段
 - d. 抛物线硬化阶段
16. 下列过程与晶体中空位迁移过程关系不大的是：
- a. 形变孪晶
 - b. 自扩散
 - c. 回复
 - d. 位错攀移
17. 下列各图为金相显微镜所观察的形貌，其中对应形变孪晶的是：



18. 经过冷塑性形变和再结晶过程，在下列何种情况下必定会得到粗大的晶粒组织：
- a. 在临界形变量进行塑性变形加工
 - b. 大变形量
 - c. 较长的退火时间
 - d. 较高的退火温度
19. 单晶体的临界分切应力值与_____有关。
- a. 外力相对滑移系的取向
 - b. 拉伸时的屈服应力
 - c. 晶体的类型和纯度
 - d. 拉伸时的应变大小

20. 对面心立方晶体而言，表面能最低的晶面是：

- a. (100) b. (110) c. (111) d. (121)

二、作图题 (10 分)

1. 画一个立方晶胞，并标注出坐标原点和三个基矢 (a 、 b 、 c)，然后在晶胞中画出 $(12\bar{1})$ 晶面和一个与 $(12\bar{1})$ 等同 (同一晶面族) 的晶面，并标出它的晶面指数。

2. 画一个斜方晶胞 ($a \neq b \neq c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$)，并标注出坐标原点和三个基矢 (a 、 b 、 c)，然后在晶胞中画出 (210) 晶面和一个与 (210) 晶面等同 (同一晶面族) 的晶面，并标出它的晶面指数。

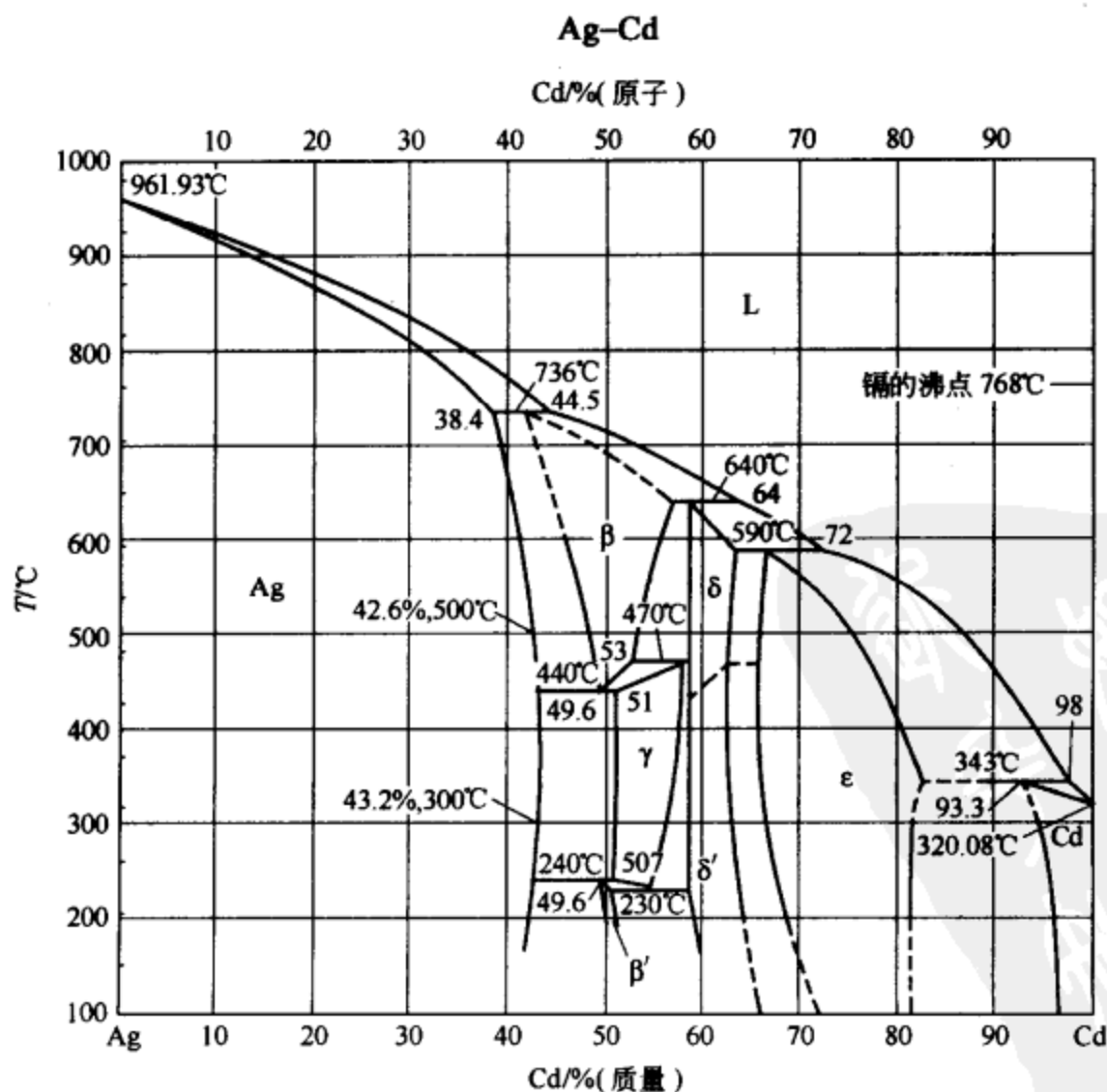
3. 画出一个六方晶胞，并标注出坐标原点和基矢 (a_1 、 a_2 、 a_3 、 c)，然后在晶胞中画出 $(1\bar{2}12)$ 晶面。

三、根据单相固溶体凝固的一维模型回答下列问题 (可以用图解说明) (16 分)

1. 为什么在凝固过程中会出现边界层？
2. 分别叙述平衡分配系数和有效分配系数的物理意义。
3. 什么情况下出现正常凝固？什么情况下凝固后的铸锭内成分最均匀？什么情况下最不均匀？
4. 用图解说明出现成分过冷的临界条件，并解释如果是正常凝固会不会出现成分过冷。

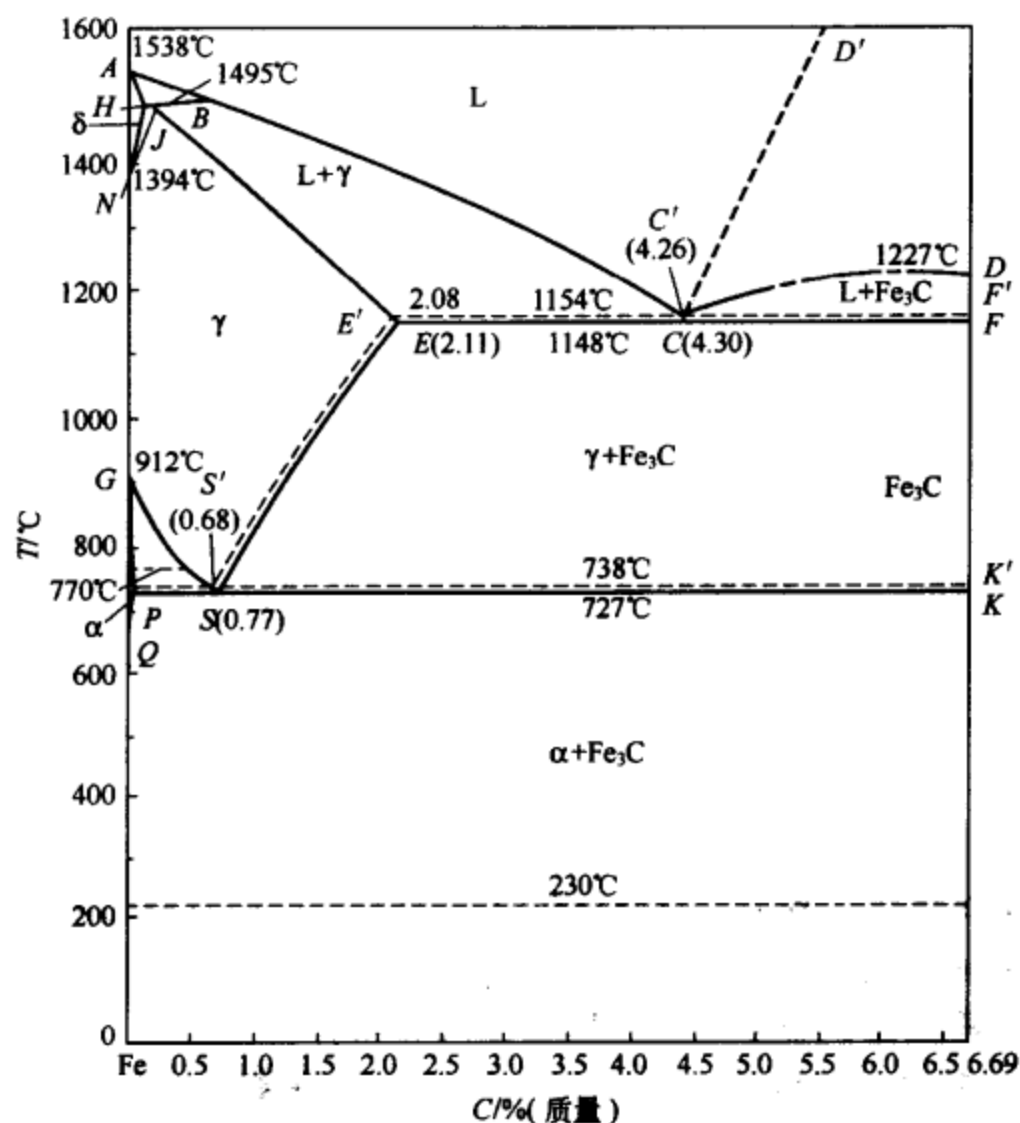
四、分别说明在纯金属均匀形核时，临界晶核和临界半径、形核功和形核率的物理意义；如果是非均匀形核，接触角的大小主要与什么因素有关？(8 分)

五、在如图所示的 Ag-Cd 二元相图中，当温度为 736°C 、 640°C 、 590°C 、 440°C 和 230°C 时分别会发生什么样的三相平衡反应？写出反应式。(5 分)



六、根据所示的铁碳平衡相图，回答以下问题：（10 分）

1. 写出在 1495°C 、 1154°C 、 1148°C 、 738°C 和 727°C 发生的三相平衡反应的反应式。
2. 画出含碳量为 1.2% 的过共析钢在室温下的平衡组织，并计算其中二次渗碳体的百分数。
3. 含碳量为 3.5% 的亚共晶白口铸铁在从液相平衡冷却到室温时会发生什么三相平衡反应和两相平衡反应（可用热分析曲线表示）？室温下该成分的铸铁中有没有二次渗碳体？如果有的话，计算其百分数。

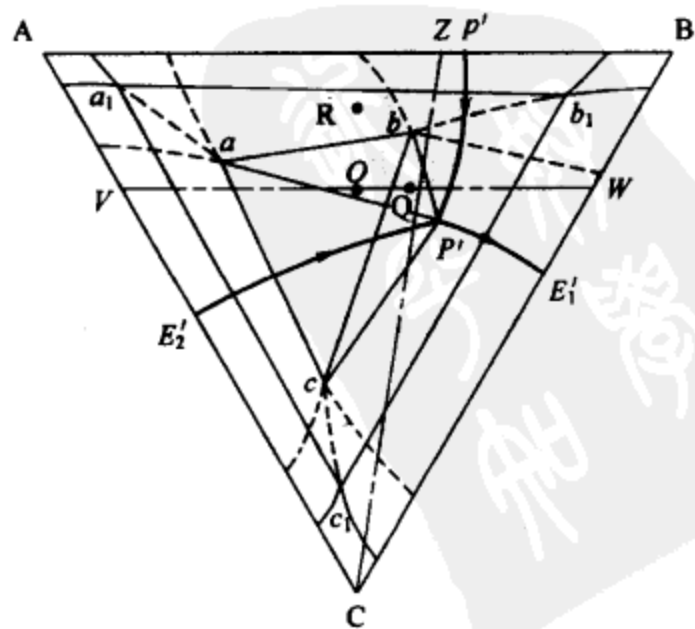


七、根据下图所示的三元相图的投影图，回答以下问题（10分）

1. 该相图中的四相平衡区在什么范围内？(用字母表示)
2. 组成该三元系的三个二元系中是否都有三相平衡反应？若有，则写出每个二元系中三相平衡反应的反应式。
-
- The diagram is a triangular phase diagram representing a three-component system. It features several horizontal and vertical tie-lines. A specific region is labeled 'a₁'.

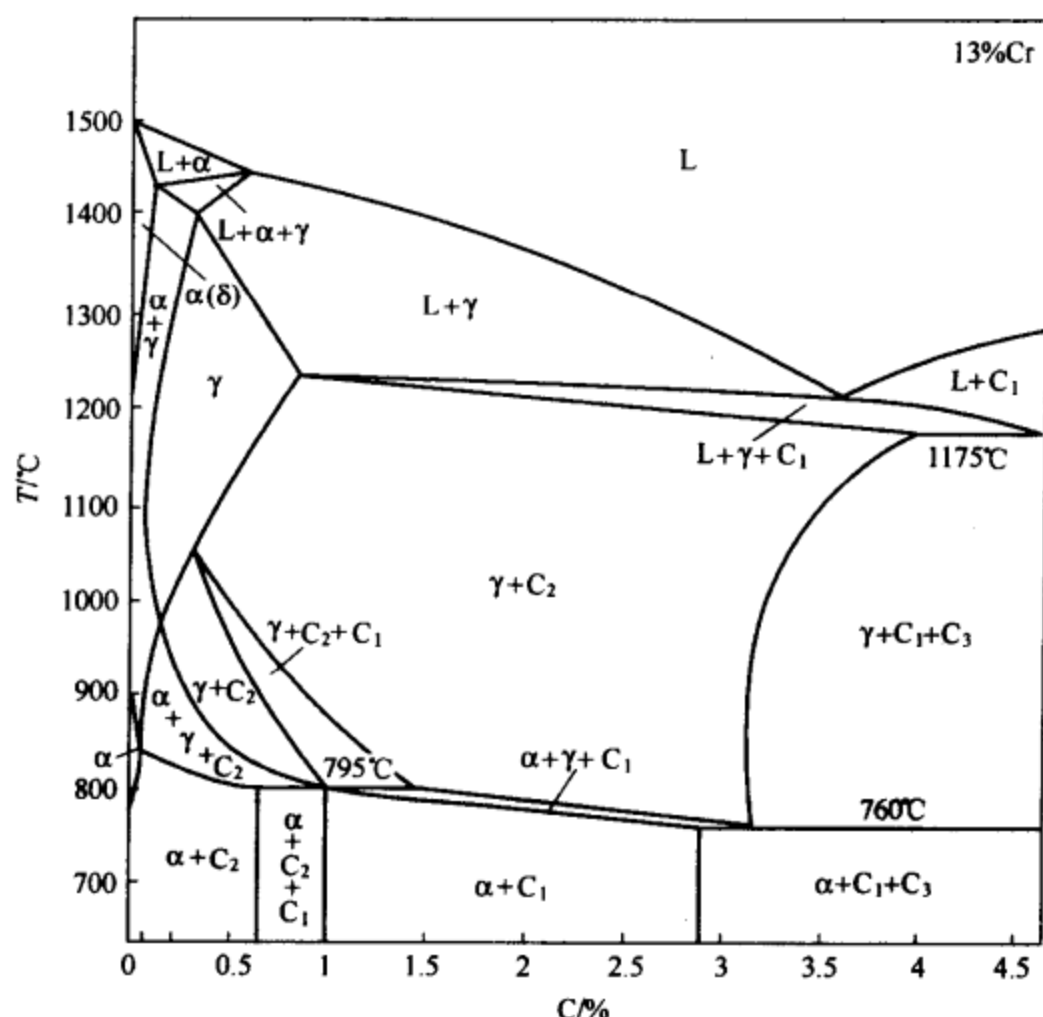
3. 写出图中成分为 Q 的合金在平衡冷却过程中发生四相平衡反应的反应式；并说明在四相平衡反应后合金所在的相区及发生的平衡转变的反应式。

4. 图中成分为 R 的合金在平衡冷却过程中是否会发生四相和三相平衡反应？若有，则写出相应的反应式。



八、根据如图所示的 Fe-Cr-C 三元相图垂直截面图，回答以下问题（6 分）

1. 在 795°C 会发生什么样的平衡反应？写出反应式。
2. 在 $L+\alpha+\gamma$ 、 $\alpha+\gamma+C_2$ 两个三相区内发生了什么样的三相平衡反应？写出反应式。
3. 能否根据这个垂直截面图判别在 1175°C 和 760°C 发生什么样的反应？为什么？



九、试述孪生与滑移的异同，比较它们在塑性变形过程中的作用（8 分）。

十、就你所学知识讨论：在某一基体金属材料（如纯铜）中引入弥散分布硬颗粒后，其塑性变形、再结晶过程以及强度所发生的变化。（10 分）

十一、氢在金属中扩散较快，因此用金属容器储存氢气会存在渗漏。假设钢瓶内氢压力为 p_0 ，钢瓶放置于真空中，其壁厚为 h ，并且已知氢在该金属中的扩散系数为 D ，而氢在钢中的溶解度服从 $C=k\sqrt{p}$ ，式中， k 为常数， p 为钢瓶与氢气接触处的氢压力。（10 分）

(1) 列出稳定状态下金属容器中的高压氢通过器壁的扩散方程。

(2) 提出减少氢扩散逸失的措施。

十二、试分析在面心立方金属中（点阵常数为 a ），下列位错反应能否进行，并指出这些位错各属什么类型？反应后生成的新位错能否在滑移面上运动：（10 分）

$$\frac{a}{2}[101] + \frac{a}{6}[\bar{1}2\bar{1}] \rightarrow \frac{a}{3}[111]$$

十三、纯金属中主要的点缺陷有哪些，试述其可能的产生原因。（7 分）

东南大学 2006 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

一、选择题（单项选择，每题 2 分，共 40 分）

1. 两晶体的空间点阵相同，则：

- a. 两晶体具有相同的晶体结构
 - b. 两晶体所具有的对称性相同
 - c. 两晶体所具有的周期性规律相同
 - d. 两晶体所属的空间群相同
2. 三元系中哪些四相平衡反应结束后可能有液相剩余?
- a. 共晶和包晶 b. 共晶和包共晶 c. 包晶和包共晶 d. 包晶和包析
3. 在立方晶系 (001) 标准投影图上, A、B、C 三晶面同在东经 30° 的经线大圆弧上, 则:
- a. 三晶面同属一晶面族 b. 三晶面和 (001) 晶面的夹角相等
 - c. 三晶面同属一晶带 d. 三晶面以坐标原点为对称中心, 具有旋转对称性
4. 可以用同一个标准投影图的晶体有:
- a. 六方和菱方晶体 b. 四方晶体和斜方晶体
 - c. 立方和四方晶体 d. 立方晶体。
5. 液态金属开始凝固时, 一旦晶胚形成, 则:
- a. 系统自由焓一直下降 b. 系统自由焓先下降后上升
 - c. 系统自由焓一直上升 d. 系统自由焓先上升后下降
6. 与 (211) 和 (101) 同属一晶带的有:
- a. (0 $\bar{1}$ 1) b. ($\bar{1}$ 21) c. (010) d. (221)
7. 六方晶系中, 和 ($\bar{1}212$) 晶面等同的晶面 (同族晶面) 是:
- a. ($\bar{1}212$) b. ($12\bar{1}\bar{2}$) c. ($12\bar{1}1$) d. ($2\bar{1}\bar{1}2$)
8. 相互作用参数 Ω 的物理意义是:
- a. $\Omega > 0$ 表示固溶体内原子偏聚 b. $\Omega > 0$ 表示固溶体内原子短程有序
 - c. $\Omega > 0$ 表示固溶体内原子完全无序 d. $\Omega < 0$ 表示固溶体内原子偏聚
9. 在硅酸盐晶体结构中, 桥氧是指:
- a. 价态未饱和的氧 b. 两个硅氧四面体共用的氧
 - c. 多个硅氧四面体共用的氧 d. 与其他金属离子连接的氧
10. 间隙相和离子晶体
- a. 可以有相同的晶体结构
 - b. 可以有相同的空间点阵, 但不可能有相同的晶体结构
 - c. 可以有相同的晶体结构, 但不可能有相同的空间点阵
 - d. 既不可能有相同的晶体结构, 也不可能具有相同的空间点阵
11. 下面列出的是铁碳合金在不同温度下可能出现的组织, 其中哪一种属于亚稳态?
- a. 铁素体 b. 铁素体+球状石墨 c. 贝氏体 d. 铁素体奥氏体
12. 在三元系中出现两相平衡时, 若要计算两相的百分数, 则:
- a. 在垂直截面上运用杠杆定理计算 b. 在水平截面上运用杠杆定理计算
 - c. 在投影面上运用杠杆定理计算 d. 在水平截面上运用重心法则计算
13. 在单相固溶体铸锭中, 形成枝晶的条件是:
- a. 成分过冷度越大越易形成枝晶 b. 没有成分过冷才能形成枝晶
 - c. 正常凝固条件下才能形成枝晶 d. 平衡凝固条件下才能形成枝晶
14. 若欲通过形变和再结晶方法获得细晶粒组织, 应避免:
- a. 在临界形变量进行塑性变形加工 b. 大变形量
 - c. 较长的退火时间 d. 较高的退火温度

15. 层错和不完全位错之间的关系是：

- a. 层错和不完全位错交替出现
- b. 层错和不完全位错能量相同
- c. 层错能越高，不完全位错柏氏矢量的模越小
- d. 不完全位错总是出现在层错和完整晶体的交界处

16. 下列说法不正确的是：

- a. 一个位错环不可能处处都是刃位错，也不可能处处都是螺位错
- b. 若将位错线正向定义为原来的反向，则螺位错旋向不变，但是刃位错正负反向
- c. 尽管扩展位错间通常都夹有一片层错区，但扩展位错是线缺陷
- d. 晶体中的柏氏矢量通常不是任意的，而是点阵的平移矢量，这是由晶体的不连续性决定的

17. 经冷变形后的金属在回复过程中，位错会发生

- a. 增殖 b. 大量消失 c. 部分重排 d. 无变化

18. 下位错上的割阶是在_____过程中形成的。

- a. 交滑移 b. 复滑移 c. 孪生 d. 交割

19. 下列有关固体中扩散的说法中，正确的是：

- a. 原子扩散的驱动力是存在着浓度梯度
- b. 空位扩散是指间隙固溶体中溶质原子从一个间隙跳到另一个间隙
- c. 晶界上点阵畸变较大，因而原子迁移阻力较大，所以比晶内的扩散系数要小
- d. 成分均匀的材料中也存在着扩散

20. 冷变形使金属中产生大量的空位、位错等晶体缺陷，对置换固溶体中的扩散过程而言，这些缺陷的存在将导致：

- a. 阻碍原子的移动，减慢扩散过程
- b. 对扩散过程无影响
- c. 有时会加速扩散，有时会减弱扩散
- d. 加速原子的扩散过程

二、作图题（10 分）

1. 画一个立方晶胞，并标注出坐标原点和三个基矢（ a 、 b 、 c ），然后

(1) 在晶胞中画出 $(3\bar{1}1)$ 晶面；

(2) 画出一个与 $(3\bar{1}1)$ 等同（同一晶面族）的晶面，并标出它的晶面指数。

2. 画一个四方晶胞（ $a=b \neq c$ ， $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ ），并标注出坐标原点和三个基矢（ a 、 b 、 c ），

然后

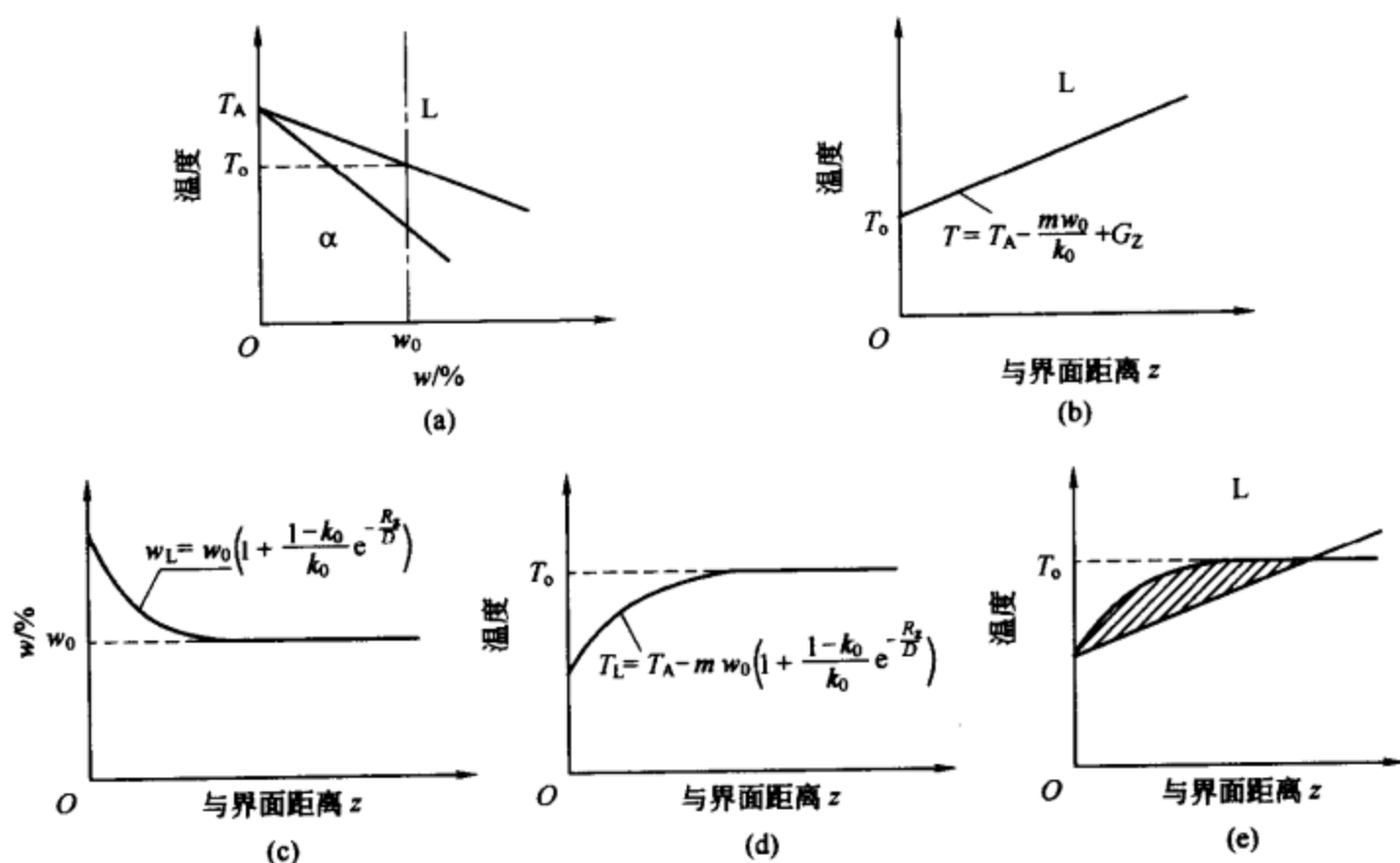
(1) 在晶胞中画出 (210) 晶面；

(2) 画出一个与 (210) 晶面和 (100) 晶面同属一个晶带的晶面，标出它的晶面指数，并写出该晶带轴的晶向指数。

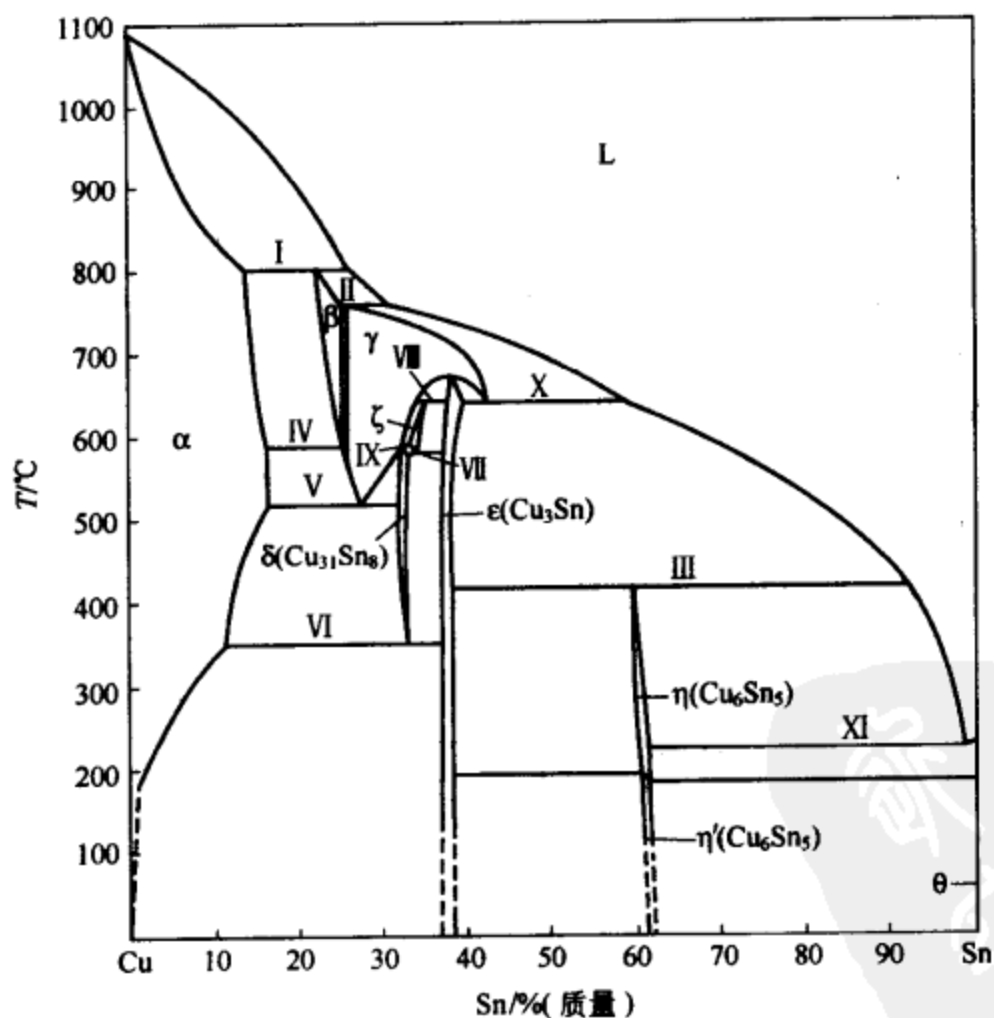
三、在均匀形核时，如果形成的晶胚是立方体，请推导出形核功 ΔG^* 和临界尺寸（立方体边长 a^* ）的表达式，并证明 $\Delta G^* = \frac{1}{3} A^* \sigma$ ，式中， A^* 是临界晶核的表面积。

（8 分）

四、分别叙述下列组图中的图(b)、图(c)和图(d)中三条曲线的物理意义，并在此基础上说明形成成分过冷的条件。（8 分）



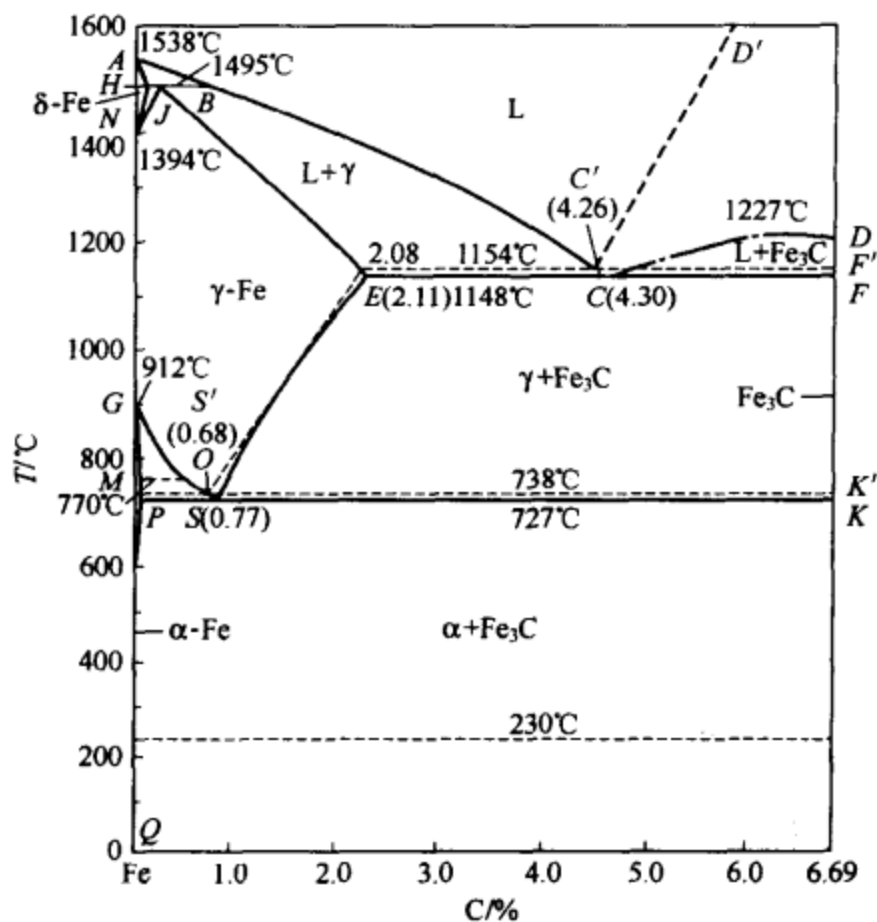
五、如图所示的 Cu-Sn 二元相图中，在水平线 I、II、V、VI、X 上各发生什么三相平衡反应？写出相应的反应式。（5 分）



六、根据所示的铁碳平衡相图，回答以下问题（10 分）

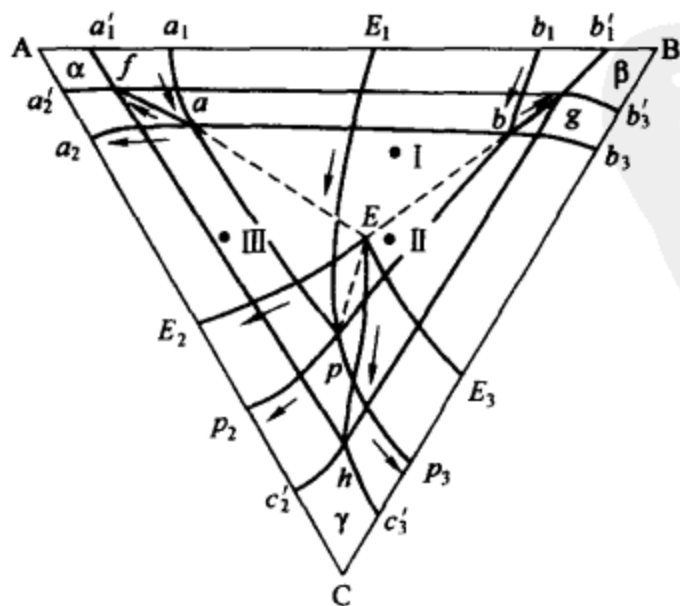
1. 在 Fe-C 系中有几种类型的渗碳体？分别说出这些渗碳体的形成条件，并描述在平衡凝固条件下这些不同类型渗碳体的形貌（可用示意图表示）。

2. 画出含碳量为 0.4% 的亚共析钢在 730℃ 和 720℃ 平衡组织的示意图，并计算其中珠光体的百分数。
3. 含碳量为 3.5% 的亚共晶白口铸铁在从液相平衡冷却到室温时会发生什么三相平衡反应和两相平衡反应（可用热分析曲线表示）？

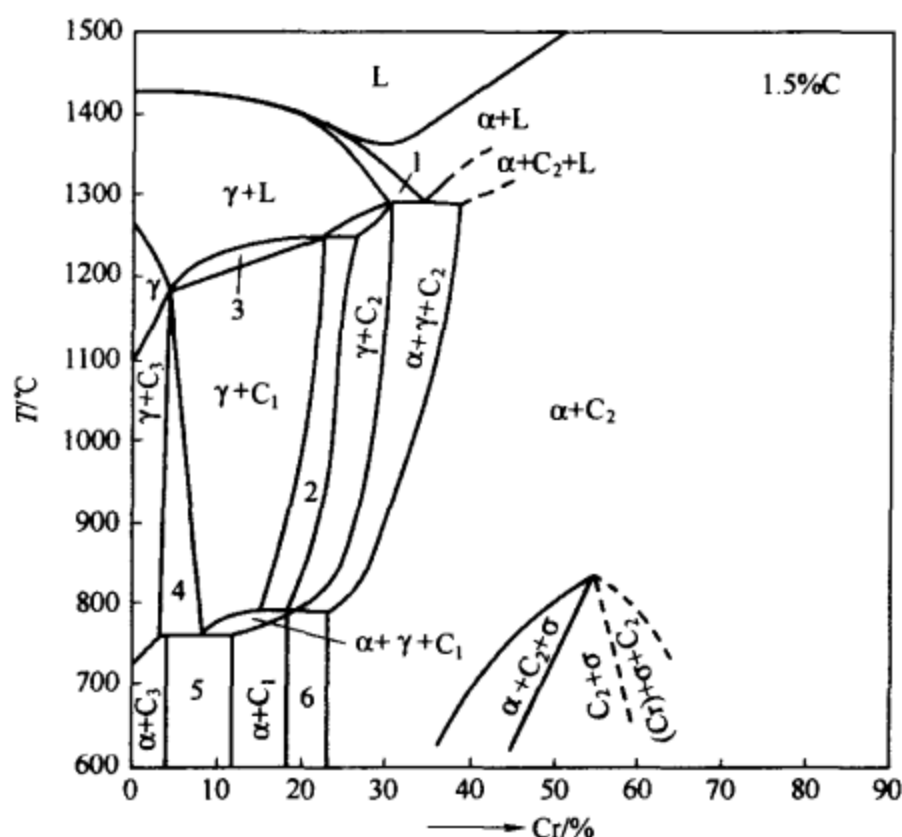


七、回答以下问题（15 分）

1. 在三元相图中，四相平衡包共晶反应区应是什么形状？它的上下方分别与几个三相区相连？在四相区的上方和下方是否还与两相区或单相区相连？为什么？
2. 三元相图中的四相平衡共晶反应区和包晶反应区都是三角形，请说出这两种四相平衡反应区的不同之处（从液相成分点和相邻相区的情况作比较）。
3. 在下图所示的三元相图投影图中会发生什么样的四相平衡反应？写出反应式。
4. 组成这个三元系的三个二元系中分别发生什么样的三相平衡反应？写出反应式。
5. 写出图中 I、II、III 点代表的成分在室温下的平衡组织。



八、根据在如图所示的 Fe-Cr-C 三元相图的垂直截面，写出发生在温度低于 800℃ 的四相平衡反应的反应式，写出图中标有 1、2、5 各相区的组成相和标有 4 的相区内发生的平衡反应的反应式。（8 分）



九、(10 分)假定某面心立方晶体（点阵常数为 a ）中的活动滑移系为 $(111)[\bar{1}\bar{1}0]$ 。

1. 给出引起滑移的单位位错的柏氏矢量，加以说明；
2. 若引起此滑移的为刃型位错，指明位错线方向及其移动方向；
3. 若引起此滑移的为螺型位错，指明位错线方向及其移动方向。

十、铜是工业上常用的一种金属材料，具有电导率高和耐腐蚀性好等优点，但是纯铜的强度较低，经常难以满足要求，根据你所学的知识，提出几种强化铜合金的方法，并说明其强化机理。（10 分）

十一、将经过大量冷塑性变形（例如为 70%）的纯铜长棒的一端浸入冰水中，另一端加热至接近熔点的高温（例如 $0.9T_m$ ），过程持续进行 1 小时，然后试样完全冷却，试作沿棒长度的硬度分布曲线（示意图），并作简要说明。（8 分）

十二、单位位错 $\frac{a}{2}[\bar{1}10]$ 能否与肖克莱不全位错 $\frac{a}{6}[\bar{1}\bar{1}2]$ 相结合形成弗兰克不全位错，若能，写出新生成的弗兰克不全位错的柏氏矢量；若不能，给出理由。这个位错为什么称固定位错？（8 分）

十三、T10 钢（Fe-1.0%C）制作的零件在高温空气介质中会发生脱碳现象。若加热温度为 800℃，经过一定时间后，零件表面 C 浓度降为 0，试画出此时零件由表层至内部的碳浓度分布情况及冷却到室温后的组织示意图。（10 分）

合肥工业大学 2004 年攻读硕士学位研究生考试试题

一、名词解释（24 分，每题 4 分）

1. 致密度
2. 间隙化合物
3. 离异共晶
4. 成分过冷
5. 反应扩散
6. 固定位错

二、填空题 (34 分, 每空 1 分)

1. 面心立方结构的单位晶胞原子数为_____, 原子半径为_____, 配位数为_____, 致密度为_____, 其八面体间隙半径比四面体间隙半径_____。
2. 位错线是_____区与_____区在滑移面上的交界线, 它实际上是一条_____的管道区。刃型位错的柏氏矢量与其位错线_____, 螺型位错的柏氏矢量与其位错线_____, 而混合型位错的柏氏矢量与其位错线既不_____, 也不_____。
3. 大角度晶界是相邻两晶粒的位向差_____的晶界, 它的晶界能比小角度晶界_____; 相界面按其结构不同可分为_____, _____和_____三种, 它与晶界的主要区别是相邻两相不仅_____不同, 而且_____也不相同, 具有最低界面能的相界面是_____相界面。
4. 间隙相是由_____元素和_____元素在负电性差_____时, 且原子半径比_____0.59 时形成的中间相, 它的晶体结构比较_____, 并与两组元_____, 它具有很高的_____和_____, 但脆性_____, 是合金工具钢中的主要_____相。
5. 扩散的驱动力为_____, 原子扩散的机制主要是_____和_____, 前者扩散速度比后者_____。

三、判断题 (正确的打“√” 错误的打“×”, 每题 1 分, 共 12 分)

1. 同一种空间点阵可以有无限种晶体结构, 而不同的晶体结构可以归属于同一种空间点阵。 ()
2. 对称倾侧晶界是由螺型位错构成, 而扭转晶界是由刃型位错构成。 ()
3. 结晶时凡能提高形核率、降低生长率的因素, 都能使晶粒细化。 ()
4. 合金液体在凝固形核时需要能量起伏、结构起伏和成分起伏。 ()
5. 固溶体合金液体在完全混合条件下凝固后产生的宏观偏析较小。 ()
6. 固态金属中原子扩散的最快途径是表面扩散。 ()
7. 固态金属中二维晶粒的稳定形状为八边形。 ()
8. 晶体结构对扩散有一定的影响, 在致密度较小的晶体结构中, 原子的扩散系数较大。 ()
9. 孪生变形的速度很快是因为金属以孪生方式变形时需要的临界分切应力较小。 ()
10. 二元合金相图的相区接触法则是相邻相区相数差 1, 点接触除外。 ()
11. 多晶体金属塑性变形的特点是各不同取向的晶粒之间要相互协调和晶界对变形有阻碍作用。 ()
12. 纯刃型肖克莱不全位错可以作滑移和攀移运动。 ()

四、相图题 (20 分)

1. 画出 Fe-Fe₃C 相图, 填出各区的组织组成物。(6 分)
2. 分析含碳 0.65% 的铁碳合金的平衡结晶过程, 画出其冷却曲线和室温时的显微组织示意图。(8 分)
3. 用杠杆定律计算该合金在室温时的组织组成物和相组成物的量。(6 分)

五、用位错理论分析第二相强化的机理。(12 分)

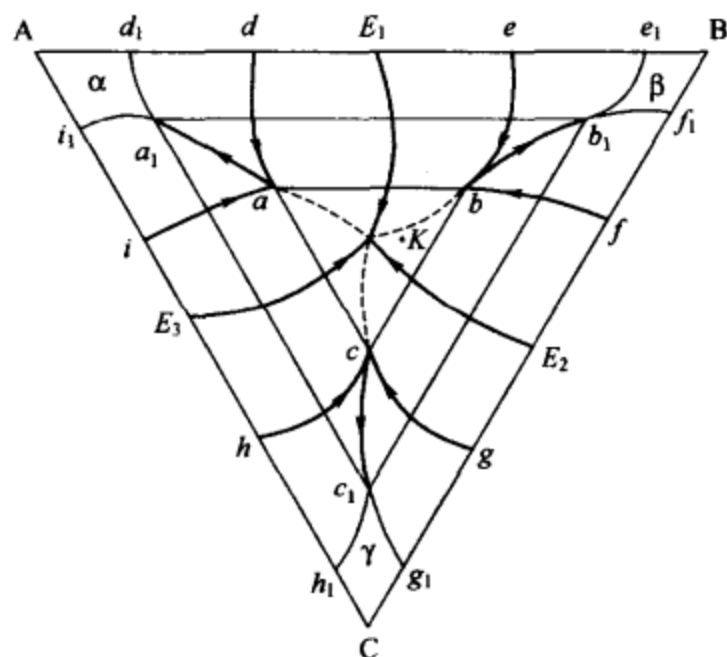
六、试用位错理论解释低碳钢冷拉伸变形时的屈服现象。(12 分)

七、阐明冷变形金属发生再结晶的条件和机制及再结晶的作用。(18 分)

八、分析哪些因素有利于促进非均匀形核, 原因是什么?(8 分)

九、任选一题 (10 分)

1. 何为成分过冷? 它对固溶体合金凝固时的生长形貌有何影响?
2. 分析三元合金相图中 K 合金的平衡结晶过程, 画出其冷却曲线, 并写出它在室温时的组织组成物。



合肥工业大学 2005 年攻读硕士学位研究生考试试题

一、名词解释 (24 分, 每题 4 分)

1. 空间点阵 2. 形核功 3. 置换固溶体 4. 比重偏析 5. 交滑移 6. 再结晶

二、填空题 (36 分, 每空 1 分)

1. 晶系有_____大类, 空间点阵只有_____种, 同一种空间点阵可以有_____种晶体结构。
2. 间隙化合物是_____元素和_____元素在负电性差_____时, 且原子半径比_____0.59 时形成的中间相, 它的晶体结构比较_____, 并与两组元_____, 它具有高的_____和_____, 但脆性_____, 是合金钢中的主要_____相。
3. 单晶体的塑性变形只能在_____作用下, 主要以_____方式进行, 取向因子最有利的_____上分切应力最先达到_____开始滑动, 其滑动的机制是_____运动。
4. 金属材料经冷塑性变形后_____密度增加, 其机械性能是_____升高, _____降低; 将其在较低温度加热时会发生_____, 它使变形金属的_____缺陷浓度和_____降低, 内应力_____, 但其显微组织和机械性能_____。
5. 热形变加工与冷形变加工的一般分界限为_____温度, 但该温度随形变量的增大而_____, 所以严格地说, 形变加工时产生加工硬化的为_____, 而不产生加工硬化的为_____。
6. 面心立方结构中的扩展位错, 是由柏氏矢量为_____的全位错分解成的两个_____不全位错和它们中间夹的_____带构成, 该位错可以进行_____运动, 也可以束集成全位错进行_____或_____运动。

三、判断题 (正确的打√, 错误的打×, 每题 1 分, 共 12 分)

1. 体心立方结构是原子的次密排结构, 其致密度为 0.74。 ()

2. 面心立方结构是原子的最密排结构, 其原子最密排面的堆垛顺序为 ABAB…。 ()
3. 位错属于线缺陷, 但它实际上是一个晶格畸变的管道区域。 ()
4. 小角度晶界的晶界能比大角度晶界的晶界能高。 ()
5. 大角度晶界是相邻晶粒的位向差大于 10° 的晶界。 ()
6. 相界面与晶界的主要区别是相邻两相, 不仅位向不同, 而且结构或成分也不相同。 ()
7. 非均匀形核时晶核与基底之间的接触角越大, 其促进非均匀形核的作用越大。 ()
8. 单相固溶体合金在平衡结晶时, 其液、固相的成分分别沿其液、固相线变化。 ()
9. 在溶解度相同时, 间隙固溶体的固溶强化效果大于置换固溶体的固溶强化效果。 ()
10. 固态金属中原子扩散的驱动力是浓度梯度。 ()
11. 不全位错的柏氏矢量小于单位点阵矢量。 ()
12. 刃型肖克莱不全位错可以进行滑移和攀移运动。 ()

四、单选题 (10 分, 每题 1 分)

1. 体心立方结构的原子最密排晶向族为____。
a. $[111]$ b. $\langle 111 \rangle$ c. $[110]$ d. $\langle 112 \rangle$
2. 面心立方结构的单位晶胞原子数为____。
a. 2 b. 4 c. 9 d. 14
3. 密排六方结构的原子最密排晶面族为____。
a. (1100) b. $\{0001\}$ c. $\{1011\}$ d. (0001)
4. 面心立方结构的滑移系是____。
a. $\{111\} \langle 110 \rangle$ b. $\{110\} \langle 111 \rangle$ c. $\{110\} \langle 112 \rangle$ d. $\{110\} \langle 123 \rangle$
5. 螺型位错的位错线是____。
a. 曲线 b. 直线 c. 折线 d. 环形线
6. 熔点和硬度最高的中间相是____。
a. 正常价化合物 b. 电子化合物 c. 间隙相 d. 间隙化合物
7. 使碳钢产生冷脆的杂质元素主要是____。
a. S b. P c. N d. H
8. 金属-金属型二元共晶合金在平衡凝固后的组织形态一般为____。
a. 层片状 b. 球状 c. 针状 d. 螺旋状
9. 在二元共晶相图中, 共晶成分的合金具有好的____性能。
a. 铸造 b. 锻造 c. 焊接 d. 热处理
10. 固态金属中原子扩散的最快路径是____。
a. 晶内扩散 b. 晶界扩散 c. 位错扩散 d. 表面扩散

五、相图题 (22 分)

1. 画出 Fe-Fe₃C 相图, 填出各区域的组织组成物。(6 分)
2. 分析含碳 0.4% 的铁碳合金的平衡结晶过程, 画出其冷却曲线和室温时的显微组织示意图。(8 分)
3. 用杠杆定律计算该合金在室温时的组织组成物和相组成物的量。(8 分)

六、从结晶条件和过程分析纯金属和单相固溶体合金结晶时的异同点。(8分)

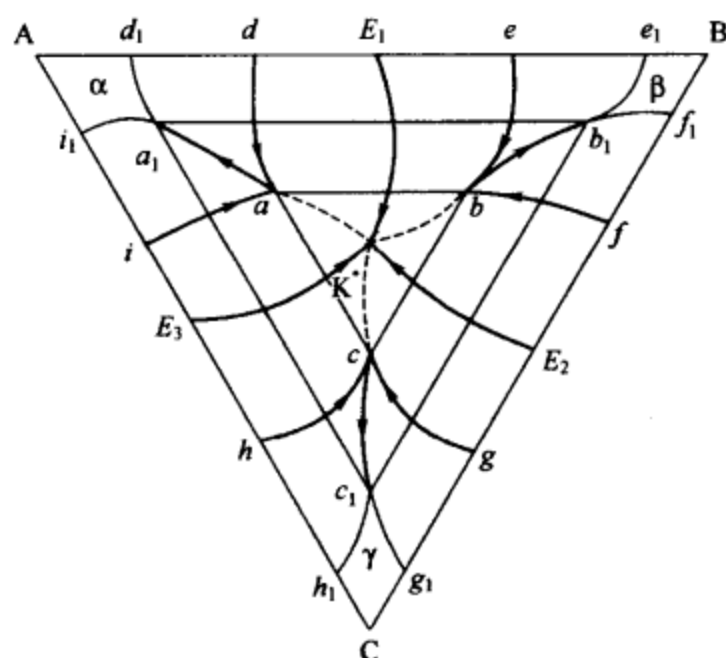
七、概述冷变形金属加热时发生再结晶的条件、形核机制、过程及再结晶的作用。(14分)

八、用位错理论阐明纯金属多晶体产生加工硬化的机理。(12分)

九、任选一题(12分)

1. 用位错理论分析固溶强化的机理。

2. 分析三元合金相图中 K 合金的平衡结晶过程, 画出其冷却曲线, 并写出它在室温时的组织组成物。



合肥工业大学 2006 年攻读硕士学位研究生考试试题

一、名词解释(24分, 每题4分)

1. 间隙固溶体 2. 非均匀形核 3. 珠光体 4. 离异共晶 5. 扩展位错 6. 枝晶偏析

二、填空题(36分, 每空1分)

1. 体心立方结构的单位晶胞原子数为_____, 原子半径为_____, 配位数为_____, 致密度为_____, 它的八面体间隙半径比四面体间隙半径_____, 它的最密排晶向族是_____, 最密排晶面族是_____。

2. 液态金属的结构特点是_____有序, _____无序, 并且存在着_____起伏和_____起伏, 其凝固的必要条件是_____, 其形核的驱动力为_____的降低, 形核的阻力为_____的增加, 其临界形核功为_____, 若形核率_____, 则形成的晶粒_____。

3. 小角度晶界是相邻两晶粒的位向差_____的晶界, 它主要可以分为_____和_____两种, 前者是由_____位错构成, 后者是由_____位错构成, 小角度晶界的晶界能比大角度晶界的晶界能_____。

4. 影响置换固溶体溶解度的主要因素有_____, _____, _____和_____。

5. 固态金属中原子扩散的驱动力是_____, 其扩散方向是向着_____的方向进行, 其扩散机制主要有_____和_____; 前者是原子通过_____进行迁移,

后者是原子通过_____进行迁移,因此前者的扩散激活能比后者_____,扩散系数比后者_____。

三、判断题 (正确的打√,错误的打×,每题1分,共15分)

1. 空间点阵只有14种,而晶体结构可以有无限种。 ()
2. 面心立方结构的滑移系为 $\{110\} \langle 111 \rangle$ 。 ()
3. 密排六方结构原子的最密排面的堆垛顺序为ABCABC…。 ()
4. 点缺陷是热稳定缺陷,在一定的温度时晶体中的点缺陷具有一定的平衡浓度。 ()
5. 刃型位错的柏氏矢量与其位错线垂直,螺型位错的柏氏矢量与其位错线平行,混合位错的柏氏矢量与其位错线既不平行也不垂直。 ()
6. 位错属于线缺陷,因为它的晶格畸变区为一条几何线。 ()
7. 使碳钢产生热脆的杂质元素是磷。 ()
8. 固溶体合金液体在完全混合条件下凝固后产生的宏观偏析较小。 ()
9. 冷变形金属在再结晶时可以亚晶合并、亚晶长大和原晶界弓出三种方式形核。 ()
10. 动态再结晶是金属材料在较高温度进行形变加工同时发生的再结晶,其形变硬化与再结晶软化交替进行。 ()
11. 金属-非金属型共晶具有粗糙-光滑型界面,所以它们多为树枝状、针状或螺旋状形态。 ()
12. 孪生变形的速度很快是因为金属以孪生方式变形时需要的临界分切应力小。 ()
13. 扭折对原位错运动不起阻碍作用,割阶对原位错起阻碍作用。 ()
14. 相图的相区接触法则是相邻相区相数差1。 ()
15. 固溶体合金的液固相线间距越大,不平衡凝固时产生的偏析和集中缩孔越严重。 ()

四、相图题 (25分)

1. 画出Fe-Fe₃C相图,标出重要点的温度与含碳量,填出各区域的组织组成物。(7分)

2. 分析含碳3.5%的铁碳合金的平衡凝固过程,画出其冷却曲线和室温时的显微组织示意图。(10分)

3. 用杠杆定律计算该合金在室温时的组织组成物和相组成物的量。(8分)

五、简要分析静态回复与静态再结晶对冷变形加工金属材料的作用。 (10分)

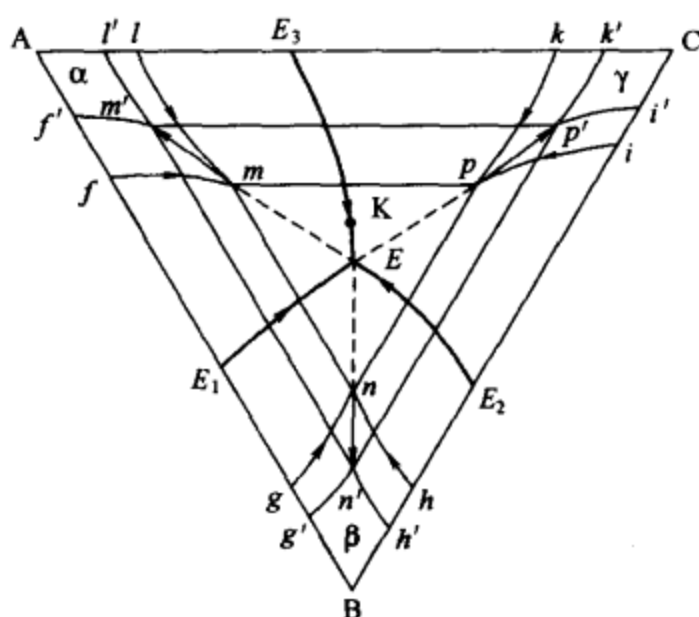
六、阐明堆垛层错与不全位错的关系,指出面心立方结构中常产生的不全位错的名称、柏氏矢量和它们各自的特性。 (12分)

七、用位错理论分析纯金属与两相合金在冷变形加工时,在产生加工硬化机理上有什么区别? (16分)

八、任选一题 (12分)

1. 何为成分过冷?它对固溶体合金凝固时的生长形貌有何影响?

2. 分析三元合金相图中K合金的平衡结晶过程,画出其冷却曲线,并写出它在室温时的组织组成物(见下图)



三元共晶相图的投影图

江苏大学 2004 年硕士研究生入学考试试题

一、名词解释 (24 分, 每题 3 分)

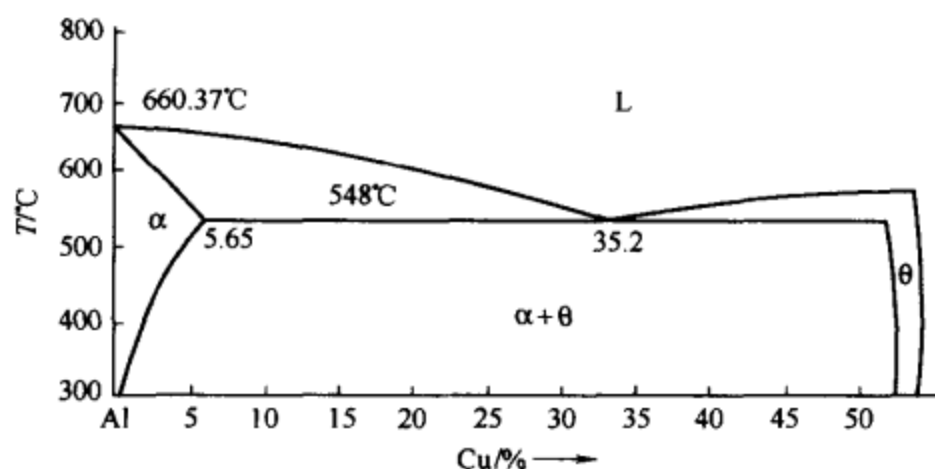
1. 扩展位错 2. 形变织构 3. 伪共晶 4. 退火孪晶 5. 单变量线 6. 反应扩散
7. 间隙相 8. 交滑移

二、填空题 (每题 2 分, 共 30 分)

1. NaCl 晶体结构中, 原子的配位数为_____。
2. 计算位错受力的表达式 $f = \tau b$ 中, τ 是指_____。
3. 晶粒长大的基本原因是_____, 晶界的运动速度主要受控于_____。
4. 液体金属形核时, 当形成半径为 r^* 的临界核心时, 体系的自由能变化_____。
5. 对面心立方晶体, 暴露在晶体外表面最可能的晶体学面是_____。
6. 三元相图中, 三相空间的任一个等温截面都是_____。
7. 在面心立方晶体结构的置换型固溶体中, 原子扩散的方式一般为_____。
8. 既能提高金属的强度, 又能降低其脆性的手段是_____。
9. 冷塑性变形的金属进行回复处理后, 金属的强度和塑性_____。
10. 高温回复阶段, 金属中亚结构发生变化是: 刃型位错通过_____构成亚晶界。
11. 固溶体结晶时, 根据液相中溶质的混合情况不同, 可以形成不同的宏观偏析, 其中当_____所产生的宏观偏析最大。
12. 多晶体塑性变形的特点是_____。
13. 固溶强化的根本原因在于_____。
14. 位错反应必须满足的条件是_____。
15. 滑移时晶体的转动规律 (拉伸情况) 为_____。

三、Al-Cu 合金相图如下图所示, 设分配系数 K 和液相线斜率均为常数, 试求:

1. 含 1% Cu 固溶体进行缓慢的正常凝固, 当凝固分数为 50% 时所凝固出的固体成分。(7 分)
2. 经过一次区域熔化后在 $x=5$ 处的固体成分, 取 $L=0.5$ 。(7 分)
3. 测得铸件的凝固速度 $R=3 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$, 温度梯度 $G=30^\circ\text{C/cm}$, 扩散系数 $D=3 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ 时, 合金凝固时能保持平面界面的最大含铜量。(7 分)

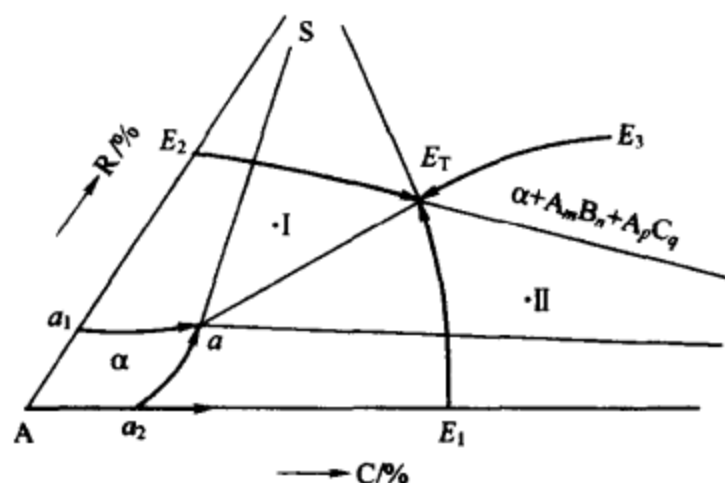


四、一块碳钢在平衡冷却的条件下，显微组织中含有 50% 珠光体和 50% 铁素体，问：

1. 此合金中碳浓度为多少？（5 分）
2. 若合金加热到 730℃，在平衡条件下将获得什么显微组织？（5 分）
3. 若合金加热到 850℃，又将得到什么显微组织？（5 分）

五、已知 ABC 三元系富 A 部分液相线投影图如下图所示：

1. 写出在 E_T 点相交的三条单变量线所存在的反应。（9 分）
2. 图中 I 成分和 II 成分合金平衡凝固后由哪些相和组织组成？（6 分）
3. 图中什么成分的合金平衡冷凝后是由等量（质量分数）的 α 初晶和 $(\alpha + A_m B_n + A_p C_q)$ 三元共晶所组成？（6 分）



六、公式 $D = \alpha^2 P \Gamma$ 的物理意义是什么？试比较在间隙型扩散和置换型扩散两者的 D 表达式的区别。（15 分）

七、一块纯锡板，被子弹击穿，试分析在弹孔周围的组织变化，并绘出示意图。（14 分）

江苏大学 2005 年硕士研究生入学考试试题

一、比较下列名词（每题 4 分，共 24 分）

- | | | |
|--------------|----------------|--------------|
| 1. 间隙相与间隙化合物 | 2. 不平衡共晶与离异共晶 | 3. 连接线与单变量线 |
| 4. 复滑移与交滑移 | 5. 动态过冷度与临界过冷度 | 6. 柯氏气团与铃木气团 |

二、填空题（每题 2 分，共 30 分）

1. 在常温和低温下，金属的塑性变形主要是通过_____的方式进行的。此外，还有_____等方式。
2. 上坡扩散是指_____。扩散的驱动力是_____。

3. 间隙相 Fe_4N 为_____结构, 其中 N 原子位于_____。
4. 形变组织的性质与变形金属的原始条件、____、_____有关。
5. 再结晶形核时, 对于弓出形核机制, 多发生在_____的金属中。
6. 两平行异号刃型位错发生交互作用时, 在_____情况下, 两位错处于稳定平衡状态。

7. 从 F-R 源模型考虑, 金属沉淀强化后的屈服强度 σ_s 与沉淀相粒子平均间距 L 的关系为_____。

8. 金属液体在凝固时产生临界晶核半径的大小主要取决于_____。
9. 渗碳处理常常在钢的奥氏体区域进行, 这是因为_____。
10. 加工硬化是一种有用的强化手段, 其缺点是材料在_____不适用。
11. 一般情况下, 高纯度金属比工业纯度的金属_____发生再结晶。
12. 根据晶体缺陷的几何特征, 可将晶体缺陷分为三类, 其中扩展位错属于_____。
13. 一般认为应变时效是一种_____现象, 其原因是_____。
14. 根据液相单变量线上箭头的指向, 可以判断四相平衡转变类型。当两条液相单变量线箭头指向交点, 另一条液相单变量线箭头背离交点, 则发生_____。
15. 根据相图可以推断合金的性能, 相图上的成分间隔越大, _____越严重; 结晶间隔越大, 铸件凝固完了越易产生_____。

三、假定发现冷轧至最终厚度并经退火后的薄铝片差 2%, 需再冷轧至所需厚度, 并进行退火以消除这一小量减缩的强化作用, 问这一过程将产生什么影响? (15 分)

四、综述金属结晶过程的热力学条件、动力学条件、能量条件和结构条件。(20 分)

五、已知和渗碳体相平衡的 $\alpha\text{-Fe}$ 固溶度方程为:

$$C = 2.55 \exp(-11.3 \times 10^3 / RT) (\%, \text{质量})$$

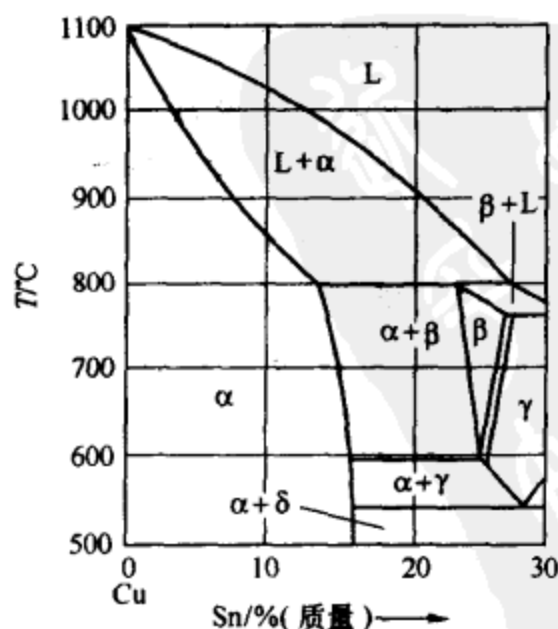
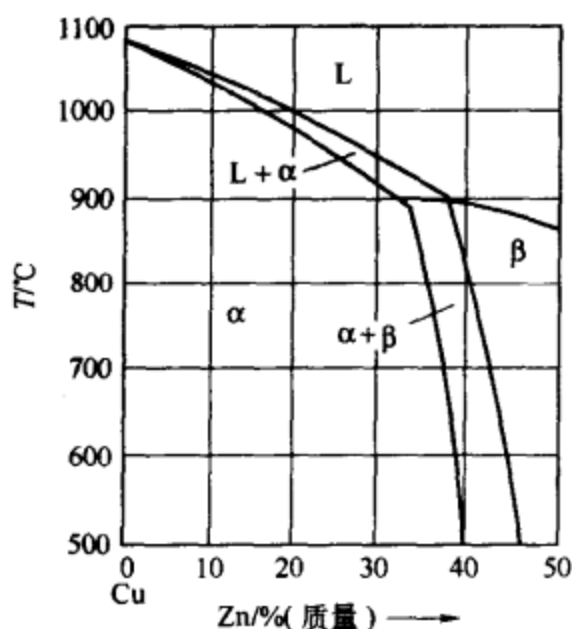
设想碳在奥氏体的溶解度方程也呈类似类型, 试根据铁碳相图列出该方程。(16 分)

六、钢在较低温度渗碳有一定的优越性。设想将渗碳温度从 1000°C 降到 900°C , 而将渗碳时间相应延长 10%, 即能获得同样结果。试分析这种设想是否正确。(已知碳在奥氏体中的扩散激活能为 140kJ/mol) (15 分)

七、简述第二相颗粒对再结晶的影响。(10 分)

八、青铜和黄铜相图如图所示:

1. 比较 Cu-10%Sn 合金铸件和 Cu-10%Zn 合金铸件的铸造性能和铸造组织。(10 分)
2. 分别含 2%Sn 和 15%Sn 的青铜合金, 说明哪一种可进行压力加工, 哪一种可利用铸造法来制造机器零件? (10 分)



江苏大学 2006 年硕士研究生入学考试试题

一、比较下列名词（每题 4 分，共 24 分）

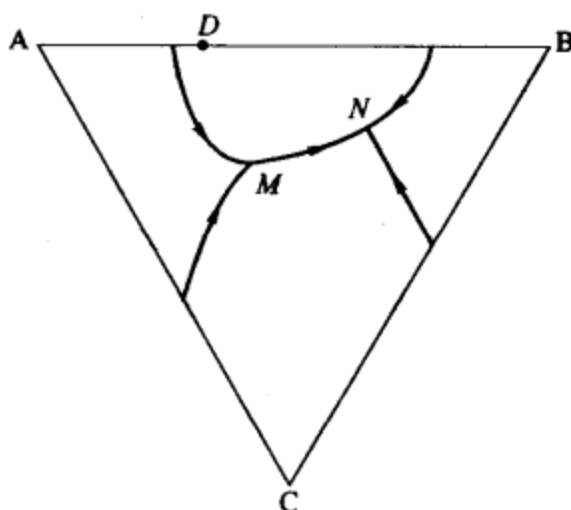
1. 再结晶与二次再结晶
2. 上坡扩散与反应扩散
3. 致密度与配位数
4. 热脆与冷脆
5. 平衡分配系数与有效分配系数
6. 交滑移与双交滑移

二、晶体滑移面上存在一个位错环，外力场在其柏氏矢量方向的切应力为 $\tau=10^{-4}G$ (G 为剪切弹性模量)，柏氏矢量 $b=2.55 \times 10^{-10} \text{m}$ ，此位错环在晶体中能扩张的半径为多大？(12 分)

三、示意画出单晶体的应力-应变曲线，并标明各阶段。铝（层错能约为 200mJ/m^2 ）和不锈钢（层错能约为 10mJ/m^2 ），哪一种材料的形变第Ⅲ阶段开始得更早？这两种材料滑移特征有什么区别？(12 分)

四、铜板厚 40mm，轧制成一侧为 20mm，另一侧保持为 40mm 的楔形板，经再结晶退火后，画出从 20mm 一侧到 40mm 一侧的截面示意图，并给予解释。(12 分)

五、如图给出 A-B-C 三元系液相面投影图，AB 二元系有一个稳定化合物 D，设 A、B、C 和化合物 D 都具有极小的溶解度。分析和写出所有的三相反应和写出所有的四相反应的反应式。(10 分)



六、形变孪晶和退火孪晶形成机制有何不同？试说明它们的显微组织特征。(12 分)

七、比较“位错绕过质点”与“位错切过质点”分散强化机制的异同点。(10 分)

八、简述铸锭三晶区的形成机制。(12 分)

九、对 Cu-Ni 合金什么成分硬度最高？硬度最高的合金流动性好不好？为什么？如果两个形状相同的铜镍合金铸件，一个含镍 90%、一个含镍 50%，铸后自然冷却，哪一个合金产生的偏析大？为什么？(12 分)

十、用图示说明成分过冷是怎样形成的，并推导产生成分过冷的临界条件（设溶质仅依靠扩散而混合），并简述成分过冷对金属凝固时晶体生长形态的影响。(20 分)

十一、计算含碳 5% 的铁碳合金室温组织中所有渗碳体类型的质量分数，并画出室温的金相组织示意图。(14 分)

南京航空航天大学 2004 年硕士研究生入学考试参考答案

第一部分

一、填空题（每空 0.5 分，共 8 分）

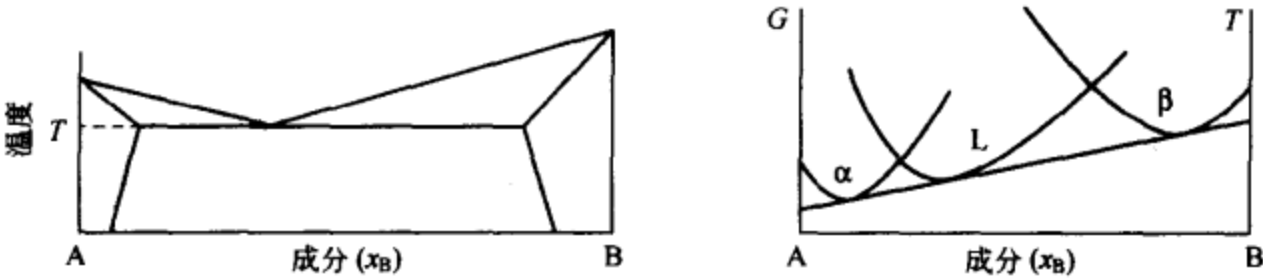
- 1. 4; 0.74; 12; 大
- 2. 7; $a=b\neq c, \alpha=\beta=\gamma=90^\circ$; 三斜, 单斜, 六方, 菱方, 正交 (任选三种); 面心立方
- 3. $\delta \longrightarrow L+\alpha; L_1+L_2 \longrightarrow \alpha; L+\alpha \longrightarrow \beta$
- 4. 平面状; 胞状; 树枝状

二、简答、计算与作图（37 分）

- 1. (5 分) 答: 晶粒越细小, 材料的强度提高, 韧塑性也提高。实际生产中常采用机械震动、添加孕育剂、增大过冷度等方式来细化晶粒。
- 2. (4 分)

合金相	ΔR	电负性差	相的种类	其他
间隙化合物	30%~41%	较大	化合物	都是小的非金属原子溶解到大的过渡族金属
间隙相	>41%	较大	化合物	
间隙固溶体	>41%	不大	固溶体	

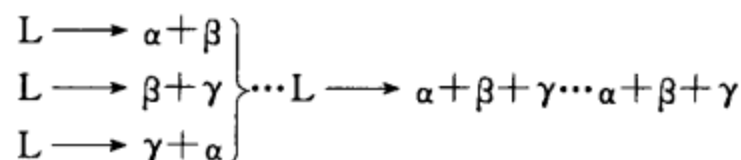
- 3. (4 分) 答: 晶核要长大, 就必须在界面处有一定的过冷度, 即动态过冷度。
纯金属的凝固是形核与长大的过程, 其长大的三种机制有以下三种: ①垂直生长机制; ②二维晶核台阶生长模型; ③晶体缺陷台阶生长机制。
- 4. (4 分)



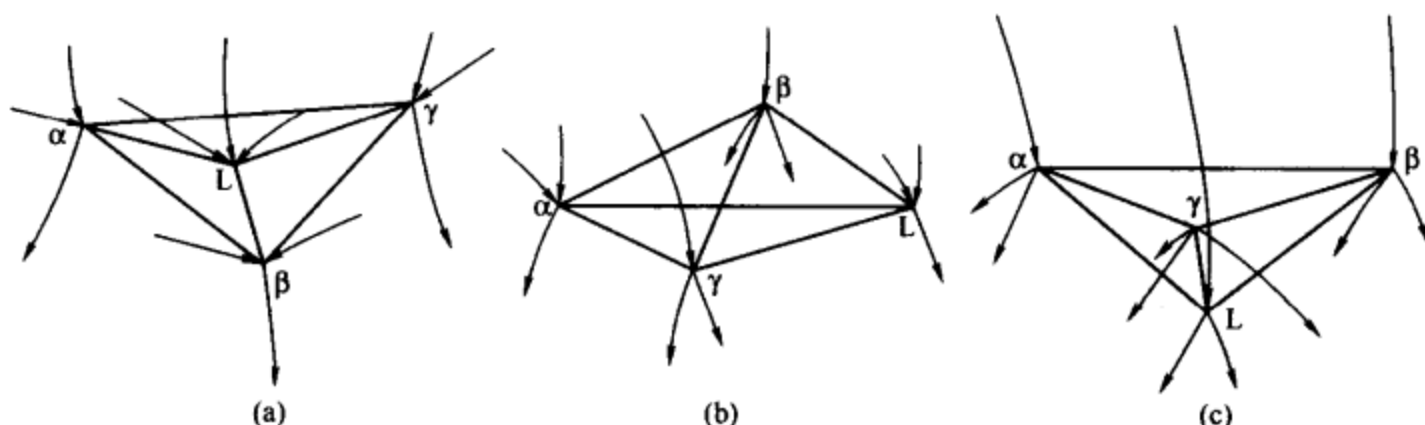
- 5. (5 分) 答: (1) 表层等轴细晶区 浇注后, 接触铸模表面的液态金属急剧冷却, 造成很大的过冷度, 这样便在最外层形成大量的晶核。再加上模壁的凹凸不平可作为非自发晶核形成的基底, 所以在外层形成等轴细晶区。
(2) 柱状晶区 随着细晶区的形成和内部热量的向外传递, 表面温度逐渐升高, 在铸锭内部形成一定的温度梯度。这样便在细晶的基础上部分晶粒向里生长形成柱状晶。由于晶体各方向生长的速度不同, 各晶粒向里生长的速度也不同。那些生长最快的晶向与温度梯度方向 (垂直于铸锭表面) 一致的晶粒向前生长的快些, 而最快生长方向与温度梯度的夹角较大的晶粒将逐渐被排挤掉。所以随着柱状晶的生长, 晶粒数逐渐减少, 而每个晶粒逐渐变粗。
(3) 中心等轴粗晶区 在柱状晶生长阶段, 由于液-固界面前沿的液相中溶质原子的富集, 形成成分过冷区。而且柱状晶越发展, 温度梯度越小, 则成分过冷区越来越宽。当铸锭内四周的柱状晶都向锭心发展并达到一定的位置时, 由于成分过冷的增大, 使铸锭心部的溶

液都处于过冷状态，都达到非均匀成核的过冷度，便开始形成许多晶核，沿着各个方向均匀生长，这样就阻碍了柱状晶区的发展，形成中心等轴晶区。

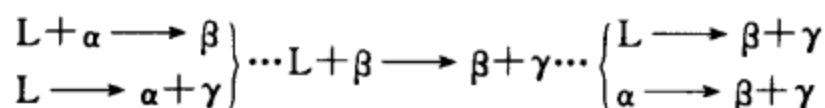
6. (12分) 答：(1) 四相平衡（偏）共晶（析）转变平面



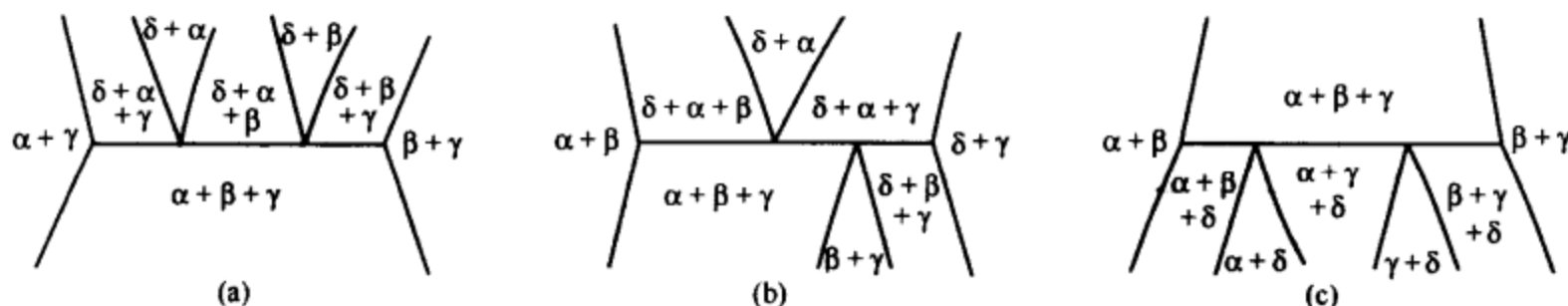
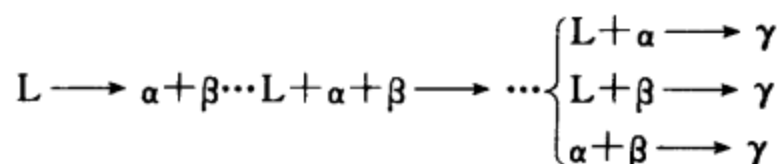
(2) 四相平衡包共晶（析）转变平面



四相平衡面与三相平衡棱柱的衔接关系



(3) 四相平衡包晶（析）转变平面



垂直截面中与四个三相平衡棱柱相接的四相平衡平面

7. (4分) 答：铁在室温下为体心立方结构，每个晶胞中含有 2 个原子，令其密度为 γ ，则

$$\gamma = \frac{55.84 \text{ g}}{6.023 \times 10^{23} \times \frac{1}{2} (2.86)^3 \times (10^{-8})^3 \text{ cm}^3} = 7.9 \text{ g/cm}^3$$

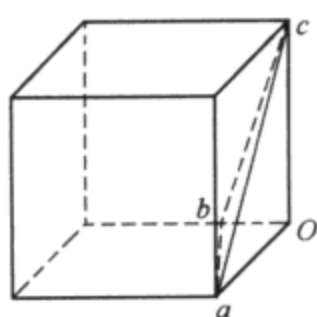
$$= 7.9 \text{ t/m}^3$$

三、名词解释 (4分)

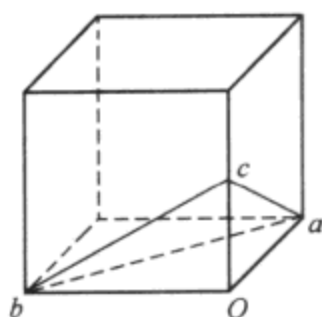
1. 同素异构转变：在周期表中，大约有 40 多种元素具有两种或两种以上的晶体结构，它们在不同的温度或压力范围内具有不同的晶体结构，故当条件变化时，会由一种结构转变为另一种结构称为多晶型转变或同素异构转变。

2. 相：所谓合金相（简称相），是从组织角度说明合金中具有同一聚集状态、同一结构，以及成分性质完全相同的均匀组成部分。

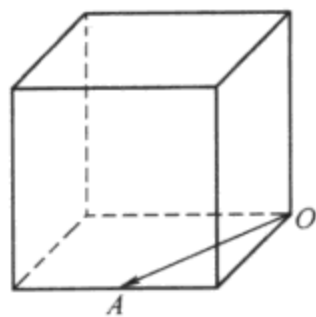
四、(6分)



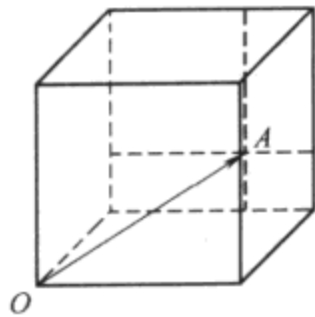
(1 $\bar{1}$ 1)



(1 $\bar{1}$ 2)



[2 $\bar{1}$ 0]



[3 $\bar{2}$ 1]

五、(5 分)

$$\Delta G = \Delta G_V V + \sigma A \quad (1)$$

式中, ΔG_V 是液、固两相单位体积自由能差, 为负值; σ 是晶胚单位面积表面能, 为正值; V 和 A 分别是晶胚的体积和表面积。设晶胚为球形, 其半径为 r , 则上式可改写成:

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

$$\frac{d(\Delta G)}{dr} = -\Delta G_V 4\pi r^2 + \sigma 8\pi r \quad (3)$$

令 $d(\Delta G)/dr = 0$, 则

$$r^* = \frac{2\sigma}{\Delta G_V} \quad (4)$$

将上式代入式 (2) 中, 得

$$\Delta G^* = \frac{16\pi\sigma^3}{3\Delta G_V^2} \quad (5)$$

将 $\Delta G_V = L_m \Delta T / T_m$ 分别代入上两式, 得到

$$r^* = \frac{2\sigma T_m}{L_m \Delta T} \quad (6)$$

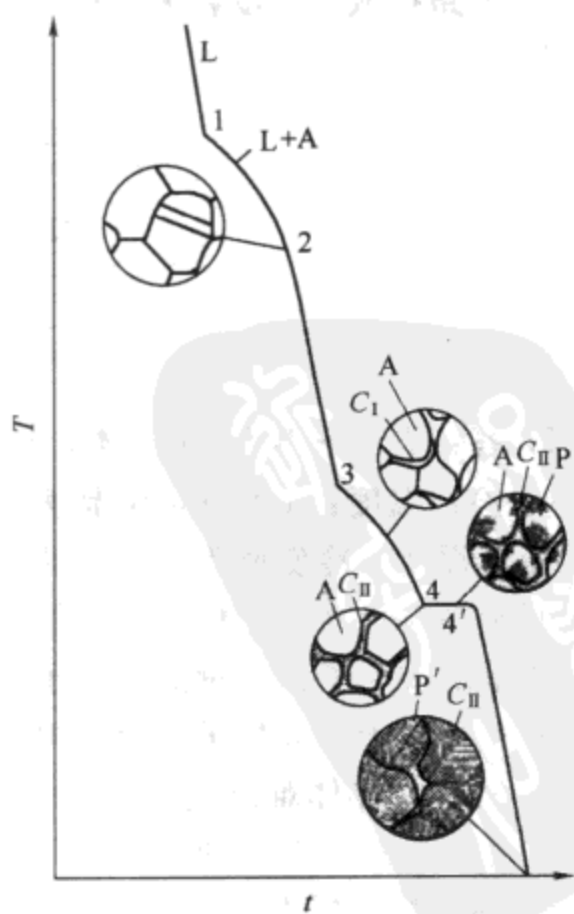
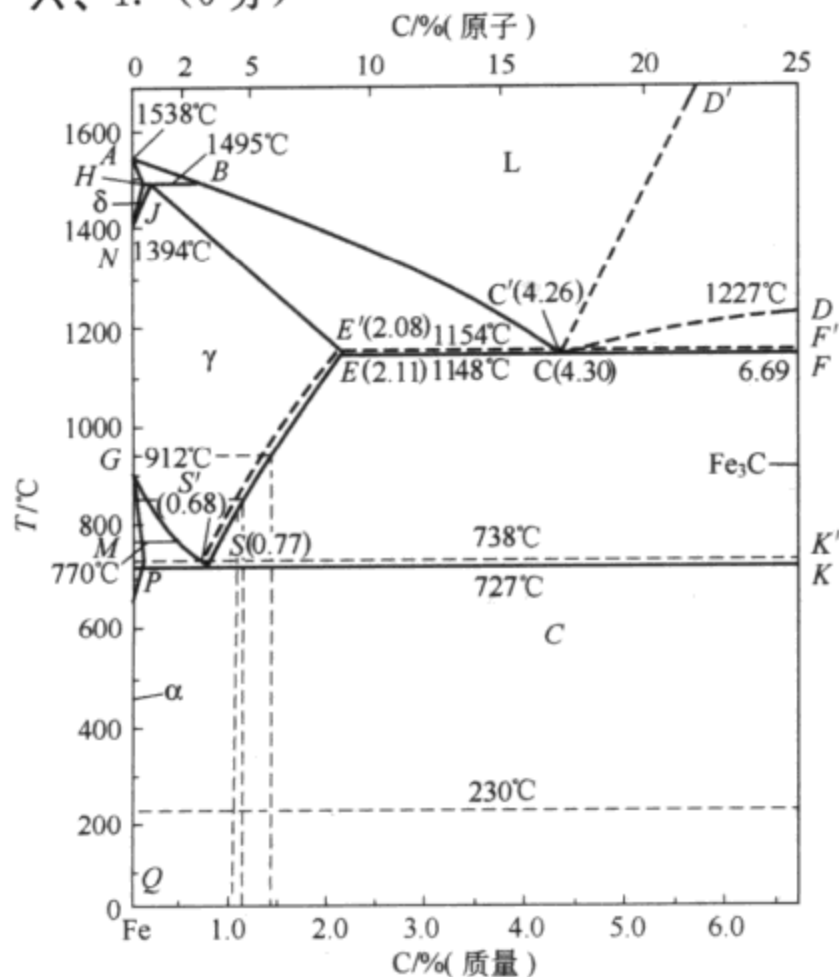
$$\Delta G^* = \frac{16\pi\sigma^3 T_m^2}{3(L_m \Delta T)^2} \quad (7)$$

$$A^* = \frac{16\pi\sigma^2 T_m^2}{(L_m \Delta T)^2} \quad (8)$$

由此可得出

$$\Delta G^* = \frac{1}{3}\sigma A^* \quad (9)$$

六、1. (6 分)



2. (9分) 答: 室温下它由 α 铁素体和 Fe_3C 渗碳体两相组成:

$$\alpha \text{ 铁素体}(\%) = (6.69 - 1.0) / 6.69 = 85.1\%; \text{Fe}_3\text{C 渗碳体}(\%) = 1 - 85.1\% = 14.9\%$$

第二部分

一、名词解释 (15分, 每题3分)

1. 点阵畸变: 金属晶体经塑性变形后, 点阵中的一部分原子偏离其平衡位置造成的晶体缺陷。

2. 回复: 冷塑变金属加热时, 在光学显微镜下组织发生改变前, 所产生的某些亚结构和性能的变化过程。

3. 滑移: 外应力超过晶体弹性极限后, 晶体中产生层片之间的相对位移, 它是晶体塑性变形的一种主要方式。

4. 短路扩散: 固态金属中原子沿表面、晶界、位错等途径的扩散。

5. 扩展位错: 两个全位错之间, 夹一堆垛层错带的位错组态。

二、简述题 (32分, 每题4分)

1. 答: 点缺陷的存在使晶体的内能 U 增加, 但另一方面, 也使晶体的熵 S 加大。根据自由能表示式 $F = U - TS$ 可以看出, 一定量的点缺陷有可能使晶体的自由能反而下降。根据自由能的极小条件, 可以求出在热力学平衡状态下的点缺陷浓度。

2. 答: 单纯的倾侧晶界——对称, 同号刃型位错; 不对称, b 垂直, 两组刃型位错。

扭转晶界——两组螺型位错, 交叉网络。

3. 答: 温度——最主要影响因素, $T \uparrow \rightarrow D \uparrow$;

固溶体类型——间隙固溶体, $Q \downarrow \rightarrow D \uparrow$;

晶体结构——致密度 $\downarrow \rightarrow D \uparrow$;

浓度—— $C\% \uparrow \rightarrow D \uparrow$;

合金元素——类型不同, 影响不同 $D \uparrow$ 、 $D \downarrow$;

短路扩散—— $Q \downarrow \rightarrow D \uparrow$ 。

4.



5. 答: $T \uparrow \rightarrow D \uparrow$, $C\% \uparrow$, 可克服致密度 \uparrow 的影响。

6. 答: 温度: $T \uparrow \rightarrow$ 再结晶速度 \uparrow ;

变形程度: 冷变形程度 $\uparrow \rightarrow$ 储存的能量 $\uparrow \rightarrow$ 再结晶速度 \uparrow ;

原始晶粒尺寸: 晶粒细 $\uparrow \rightarrow$ 能量高、易形核 \rightarrow 再结晶速度 \uparrow ;

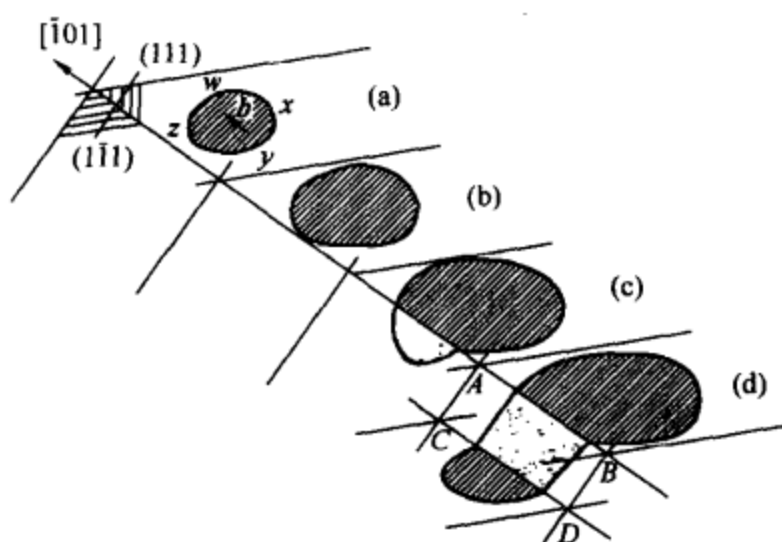
微量溶质原子: 微量溶质原子 \rightarrow 阻碍再结晶;

分散相粒子: 大粒子 \rightarrow 促进再结晶; 小粒子 \rightarrow 阻碍再结晶。

7. 答: 在晶体难以进行滑移时发生的一种塑性变形方式, 密排六方结构 \rightarrow 形变孪晶; 体心立方结构 \rightarrow 低温、冲击。

8. 答: 螺位错在某一滑移面上移动受到阻碍时, 离开原滑移面而沿另一个与原面有着

共同滑移方向的晶面继续移动。由于柏氏矢量不改变，故滑移在另一平面仍按原来的方向继续进行，此过程即为交滑移。



三、综合题 (28 分, 每题 7 分)

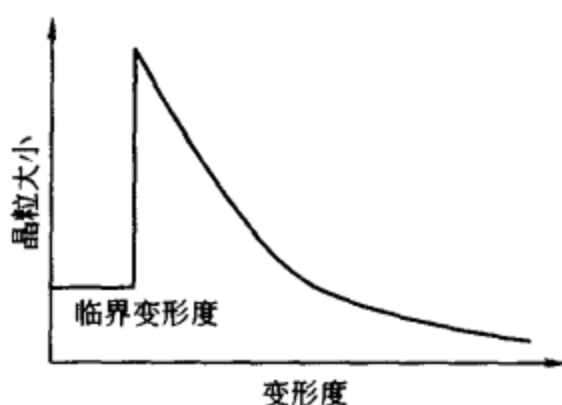
1. 答: 化学反应速度, 原子扩散速度。

实际上反应扩散起初由于新相层较浅, 原子扩散不是主要矛盾, 过程由表面反应所支配, 新相层的增加服从直线关系。随新相层深度增加, 原子扩散逐步成为过程的主要矛盾, 新相层的增加则服从抛物线关系。

2. 答: 析出初期: 可变形微粒的强化过程→切割机制, 粒子尺寸↑, 体积分数↑→强度↑; 析出后期: 不可变形微粒的强化过程→绕过机制, 析出量达到平衡值→体积分数达到定值→粒子进一步长大→失去共格→强度↓。

3. 答: 冷塑变量↓, 不发生再结晶。

变形量 2%~8%, 再结晶核心↓, 晶粒粗大, 变形量↑, 晶粒细化。



但当变形度达到 70% 以上, 在一定的温度下, 材料会出现异常晶粒长大。

4. 答: 切应力到达晶体的临界分切应力。

易滑移阶段: 单系滑移;

线性硬化阶段: 双滑移或多滑移;

抛物线型硬化阶段: 交滑移, 动态回复。

南京航空航天大学 2005 年硕士研究生入学考试参考答案

一、名词解释 (每题 3 分, 共 24 分)

1. 负离子配位多面体: 离子晶体结构中, 与某一个正离子成配位关系而邻接的各个负

离子中心连线所构成的多面体。

2. 有序固溶体：对于某些成分接近于一定的原子比（如 AB 或 AB₃）的无序固溶体中，当它从高温缓冷到某一临界温度以下时，溶质原子会从统计随机分布状态过渡到占有一定位置的规则排列状态，即发生有序化过程，形成有序固溶体。

3. 相：相是从组织角度说明合金中具有同一聚集状态、同一结构，以及成分、性质完全相同的均匀组成部分。

4. 面角位错：面心立方晶体中，形成于两个 {111} 面之间的面角上，由三个不全位错和两片层错所构成的位错组态，称为面角位错。

5. 包申格效应：材料经预先加载产生少量塑性变形（小于 4%），而后同向加载则弹性极限升高，反向加载则弹性极限下降。此现象即为包申格效应。它是多晶体金属材料的普遍现象。

6. 黏弹性：变形形式除了弹性变形、塑性变形外还有一种黏性流动。所谓黏性流动，是指非晶态固体和液体在很小外力作用下便会发生没有确定形状的流变，并且在外力去除后，形变不能回复。黏弹性变形既与时间有关，又具有可回复的弹性变形性质，它是高分子材料的重要力学特征之一。

7. 伪共晶：在平衡凝固条件下，只有共晶成分的合金才能得到全部的共晶组织。然而，在非平衡凝固条件下，某些亚共晶或过共晶成分的合金也能得全部的共晶组织，这种由非共晶成分的合金所得到的共晶组织称为伪共晶。

8. 应变时效：当退火状态低碳钢试样拉伸到超过屈服点发生少量塑性变形后卸载，然后立即重新加载拉伸，则可见其拉伸曲线不再出现屈服点，此时试样不发生屈服现象。如果将预变形试样在常温下放置几天或经 200℃ 左右短时加热后再行拉伸，则屈服现象又复出现，且屈服应力进一步提高，此现象通常称为应变时效。

二、简答题

1. （5 分）答：原子间的键合有金属键、离子键、共价键、分子键和氢键。

金属键没有方向性，正离子间改变相对位置并不会破坏电子与正离子之间的结合力，因而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，因此金属具有良好的延展性；一般离子晶体中正负离子静电引力较强，结合能较高而牢固，因此其熔点和硬度均较高。

2. （5 分）

高分子链结构	近程结构 (一级结构)	构造	分子链中原子的类型和排列 高分子链的化学结构分类 结构单元的键接顺序 链结构的成分 高分子的支化、交联与端基
		构型	取代基围绕特定原子在空间的排列规律
	远程结构 (二级结构)	单个高分子的大小与形态 链的柔顺性 分子在各种环境中所采取的构象	

3. （4 分）答：刚玉为三方晶系，6 : 4 配位，单位晶胞较大，且结构较复杂，O²⁻ 的排列大体上为 HCP 结构，其中八面体间隙位置的 2/3 被 Al³⁺ 有规律地占据，空位均匀分布，这样六层构成一个完整周期，多个周期堆积起来形成刚玉结构。

4. （5 分）答：聚集态结构是指高分子材料整体的内部结构，包括晶态结构、非晶态结

构、取向态结构、液晶态结构及织态结构。

结晶高聚物由晶区和非晶区组成，而每个高分子链可以贯穿几个晶区和非晶区。在晶区中分子链整齐排列成晶体，在非晶区中分子链处于无序状态。

5. (5分) 答：可以分成岛状、组群状、链状、层状和架状几种方式。

6. (4分) 答：对称中心 (i)；对称面 (m)；对称轴 (C_n)；反轴 (I_n)。

7. (5分) 答：当原子半径比较小的非金属元素作为溶质溶入金属或化合物的溶剂中时，这些小的溶质原子不占有溶剂晶格的结点位置，而存在于间隙位置，形成间隙固溶体。

① 溶剂：大多是过渡族元素；溶质：一般是原子半径小于 0.1nm 的一些非金属元素，即氢 0.046、氧 0.061、氮 0.071、碳 0.077、硼 0.097 等；② 保证 $\Delta R > 41\%$ ；③ 电负性差不大。

8. (4分) 答：FCC 和 HCP。FCC 可以，而 HCP 不可以，HCP 实质属于简单六方。

9. (5分) 答：晶体中点缺陷的存在一方面造成点阵畸变，使晶体内能升高，降低了晶体的热力学稳定性；另一方面由于增大了原子排列的混乱程度，并改变了其周围原子的振动频率，引起组态熵和振动熵的改变，使晶体熵值增大，增加了晶体的热力学稳定性。这两个相互矛盾的因素使得晶体中的点缺陷在一定的温度下有一定的平衡浓度。

位错的存在会使体系的内能升高，虽然位错的存在也会引起晶体中熵值的增加，但相对来说，熵值增加有限，可忽略不计。因此，位错的存在使晶体处于高能的不稳定状态，可见，位错是热力学上不稳定的晶体缺陷。

10. (6分) 答：滑移必须有切应力；滑移方向垂直于位错线；晶体相对滑移方向平行于 b ；同一个切应力作用下，正负刃位错以及左右螺位错运动方向相反，但造成晶体相对滑移方向一致；正负刃位错或左右螺位错相遇，互毁；刃位错只能在唯一滑移面上滑移，不能交滑移，螺位错可交滑移。

11. (6分)

答：(1) 晶界处点阵畸变大，存在着晶界能。因此，晶粒的长大和晶界的平直化都能减少晶界面积，从而降低晶界的总能量，这是一个自发过程；

(2) 晶界处原子排列不规则，因此在常温下晶界的存在会对位错的运动起阻碍作用，致使塑性变形抗力提高，宏观表现为晶界较晶内具有较高的强度和硬度；

(3) 晶界处原子偏离平衡位置，具有较高的动能，并且晶界处存在较多的缺陷如空穴、杂质原子和位错等，故晶界处原子的扩散速度比在晶内快得多；

(4) 在固态相变过程中，由于晶界能量较高且原子活动能力较大，所以新相易于在晶界处优先形核；

(5) 由于成分偏析和内吸附现象，特别是晶界富集杂质原子情况下，往往晶界熔点较低，故在加热过程中，因温度过高将引起晶界熔化和氧化，导致“过热”现象产生；

(6) 由于晶界能量较高、原子处于不稳定状态，以及晶界富集杂质原子的缘故，与晶内相比，晶界的腐蚀速度一般较快。

12. (4分) 答：交换机制、间隙机制、空位机制、晶界扩散及表面扩散。

13. (5分) 答：弹性变形是指外力去除后能够完全恢复的那部分变形，可从原子间结合力的角度来了解它的物理本质。

原子处于平衡位置时，其原子间距为 r_0 ，位能 U 处于最低位置，相互作用力为零，这是最稳定的状态。当原子受力后将偏离其平衡位置，原子间距增大时将产生引力；原子间距减小时将产生斥力。这样，外力去除后，原子都会恢复其原来的平衡位置，所产生的变形便完全消失，这就是弹性变形。

14. (4分) 答: 这是因为原子密度最大的晶面其面间距最大, 点阵阻力最小, 因而容易沿着这些面发生滑移; 滑移方向为原子密度最大的方向是由于最密排方向上的原子间距最短, 即位错 b 最小。

15. (3分)

答: (1) 孪生变形也是在切应力作用下发生的, 并通常出现于滑移受阻而引起的应力集中区, 因此, 孪生所需的临界切应力要比滑移时大得多。

(2) 孪生是一种均匀切变, 即切变区内与孪晶面平行的每一层原子面均相对于其毗邻晶面沿孪生方向位移了一定的距离, 且每层原子相对于孪生面的切变量跟它与孪生面的距离成正比。

(3) 孪晶的两部分晶体形成镜面对称的位向关系。

16. (4分) 答: 再结晶的驱动力是变形金属经回复后未被释放的储存能 (相当于变形总储能的 90%)。通过再结晶退火可以消除冷加工的影响, 故在实际生产中起着重要作用。

变形程度的影响: 随着冷变形程度的增加, 储能也增多, 再结晶的驱动力就越大, 因此再结晶温度越低, 同时等温退火时的再结晶速度也越快。但当变形量增大到一定程度后, 再结晶温度就基本上稳定不变了。对工业纯金属, 经强烈冷变形后的最低再结晶温度 $T_R(K)$ 约等于其熔点 $T_m(K)$ 的 $0.35 \sim 0.4$ 。

17. (3分) 答: 不可以。根据相率 $f = C - P + 2$, 三相共存时 $f = 1 - 3 + 2 = 0$, 即只有在特定温度和压力下, 三相才能共存。

18. (3分) 答: 驱动力: 液、固两相的自由能差; 必要条件: 有一定的过冷度; 均匀形核: 新相晶核是在母相中均匀地生成的, 即晶核由液相中的一些原子团直接形成, 不受杂质粒子或外表面的影响。

19. (3分) 答: 增加过冷度; 添加形核剂; 振动。

20. (4分)

答: (1) 链的对称性。高分子链的结构对称性越高, 越容易结晶。

(2) 链的规整性。对于主链型完全是无规的, 不具有对称中心的高分子, 一般都失去结晶能力。

(3) 共聚效应。无规共聚通常会破坏链的对称性和规整性, 从而使结晶能力降低甚至丧失殆尽。但是, 如果两种共聚单元的均聚物 (均聚物由一种单体生成的高分子) 有相同类型的结晶结构, 那么共聚物也能结晶;

(4) 链的柔顺性。链的柔顺性是结晶时链段向结晶表面扩散和排列所必需的, 因此, 使链柔顺性降低的结构因素, 均会影响高分子的结晶能力。

21. (3分)

答: (1) (偏) 共晶 (析) 转变 $L \longrightarrow \alpha + \beta + \gamma$;

(2) 包共晶 (析) 转变 $L + \alpha \longrightarrow \beta + \gamma$;

(3) 包晶 (析) 转变 $L + \alpha + \beta \longrightarrow \gamma$ 。

22. (3分) 答: 在液固界面前沿由于液相成分变化与实际温度分布所决定的特殊过冷现象称为成分过冷; 成分过冷由小到大, 液-固界面的形貌由平面状向胞状和树枝状转变。

23. (3分) 答: 表层细晶区、柱状晶区和中心等轴晶区三部分组成。

三、计算题 (共计 8 分)

1. (3分) 答: 对 FCC 的 γ -Fe, $\sqrt{2}a = 4R$, $R = \frac{\sqrt{2}}{4}a = \frac{\sqrt{2}}{4} \times 0.3633 = 0.1284 \text{ (nm)}$

2. (5分) 答: $D_1 = 10^{-7} \text{ (cm}^2/\text{s)} = D_0 \exp\left(\frac{-Q}{RT_m}\right)$

$$D_2 = D_0 \exp \left(\frac{-Q}{\frac{1}{2}RT_m} \right)$$

对上述两式分别取对数后相比，得：

$$\frac{\ln 10^{-7}}{\ln D_2} = \frac{-\frac{Q}{RT_m}}{-\frac{2Q}{RT_m}}$$

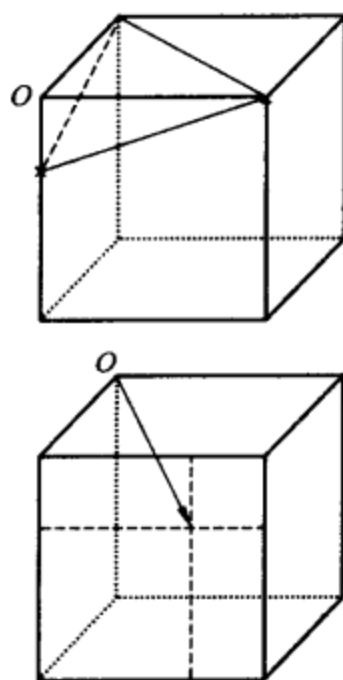
$$\frac{-16.118}{\ln D_2} = \frac{1}{2}$$

$$\ln D_2 = -32.236$$

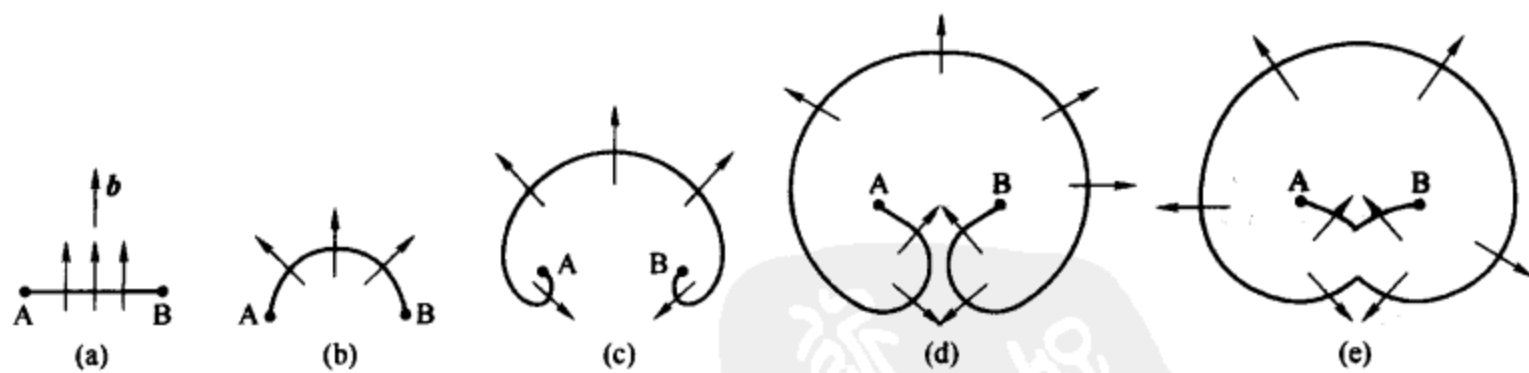
$$D_2 = 10^{-14} \text{ (cm}^2/\text{s)}$$

四、作图题（共计 22 分）

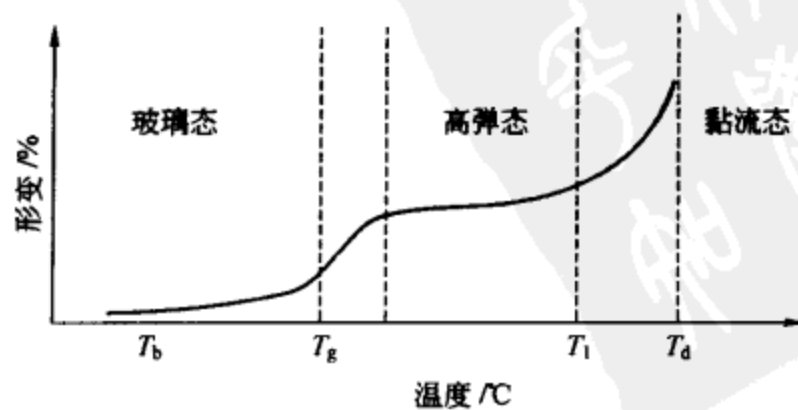
1. (4 分)



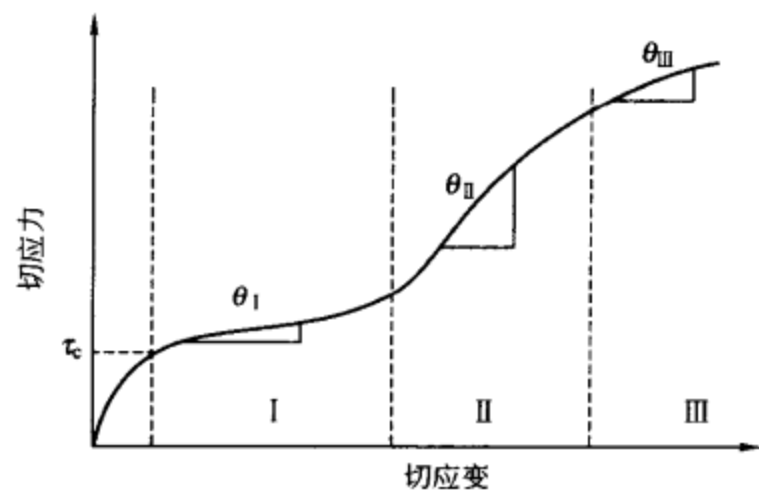
2. (5 分)



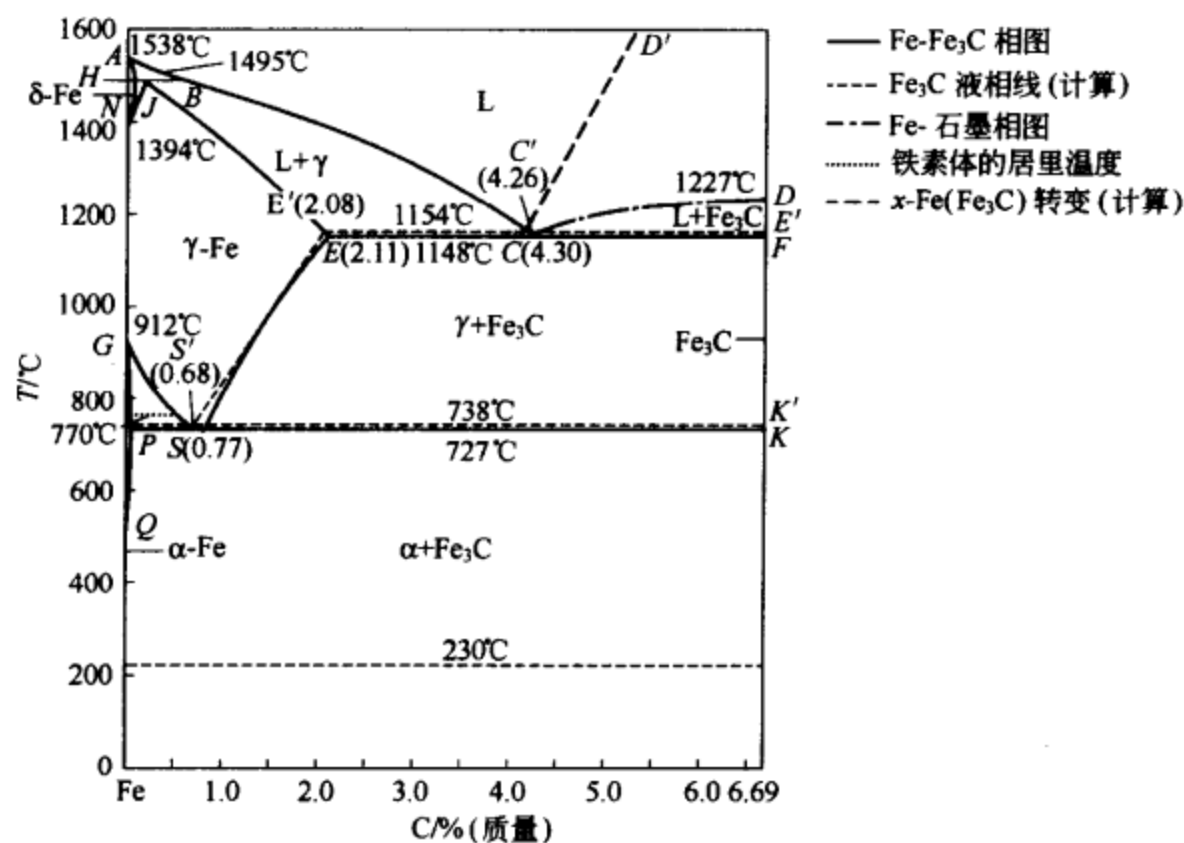
3. (3 分)



4. (3 分)



5. (7 分)



南京航空航天大学 2006 年硕士研究生入学考试参考答案

一、名词解释（每题 3 分，共 12 分）

- 1. 置换固溶体：当溶质原子溶入溶剂中形成固溶体时，溶质原子占据溶剂点阵的阵点，或者说溶质原子置换了溶剂点阵的部分溶剂原子，这种固溶体就称为置换固溶体。
- 2. 反应扩散：当某种元素通过扩散，自金属表面向内部渗透时，若该扩散元素的含量超过基体金属的溶解度，则随着扩散的进行，会在金属表面形成中间相（也可能是另一种固溶体），这种通过扩散形成新相的现象称为反应扩散。
- 3. 区域熔炼：利用固溶体凝固理论经过多次区域熔化使固溶体中杂质原子从一端而逐步聚集到另一端，从而实现固溶体的提纯。
- 4. 扩展位错的束集：当扩展位错的局部区域受到某种障碍时，扩展位错在外切应力作用下其宽度将会缩小，甚至收缩成原来的全位错，称为扩展位错的束集。

二、简答题（共计 70 分）

1.（4 分）答：金属因外层电子较少，当相互靠近产生相互作用时，都易失去最外层电子而成为正离子。而脱离了每个原子的电子为相互结合的集体离子所共有，成为自由的公有化的电子云（或称电子气）而在整个金属中运动。电子云的分布可看作是球形对称的。金属中这种正离子与自由电子之间产生强烈的静电相互作用称为金属键。

导电性：在外加电压作用下，金属自由电子可定向移动。

导热性：固态金属中，不仅正离子的振动可传递热能，而且电子的运动也能传递热能，故比非金属具有更好的导热性。

2.（6 分）

高分子链结构	近程结构 (一级结构)	构造	分子链中原子的类型和排列 高分子链的化学结构分类 结构单元的键接顺序 链结构的成分 高分子的支化、交联与端基
		构型	取代基围绕特定原子在空间的排列规律
	远程结构 (二级结构)	单个高分子的大小与形态 链的柔顺性 分子在各种环境中所采取的构象	

3.（5 分）答： $\frac{a}{2}[10\bar{1}]$ ，全位错； $\frac{a}{6}[\bar{1}21]$ ，肖克莱不全位错； $\frac{a}{3}[11\bar{1}]$ ，弗兰克不全位错。

晶体学条件 $\frac{a}{2}[10\bar{1}] + \frac{a}{6}[\bar{1}21] = \frac{3a}{6}[10\bar{1}] + \frac{a}{6}[\bar{1}21] = \frac{a}{6}[22\bar{2}] = \frac{a}{3}[11\bar{1}]$

能量条件

$$\sum b_{\text{反应前}}^2 = \left(\frac{a}{2}\right)^2 (\sqrt{1^2+1^2})^2 + \left(\frac{a}{6}\right)^2 (\sqrt{1^2+2^2+1^2})^2 = \frac{a^2}{2} + \frac{a^2}{6} = \frac{2}{3}a^2$$

$$\sum b_{\text{反应后}}^2 = \left(\frac{a}{3}\right)^2 (\sqrt{1^2+1^2+1^2})^2 = \frac{a^2}{3}$$

$$\sum b_{\text{反应前}} > \sum b_{\text{反应后}}$$

根据上面两个条件，可判断上面反应可以进行。

4.（4 分）答： $L + \alpha \longrightarrow \beta + \gamma$ ，在其四相平衡平面上、下分别包含 2 个三相平衡棱柱。

5.（6 分）答：单晶铝塑性变形能力具有明显的各向异性，而多晶铝塑性变形则呈各向同性；单晶铝的加工硬化经过三个阶段，分别是易滑移阶段、线性硬化阶段、抛物线型硬化阶段，而多晶铝的应力应变曲线没有第一阶段，而且其硬化曲线更陡，单晶铝的应力应变水平低于多晶铝。

无论是单晶铝还是多晶铝，塑性变形过程中位错密度的增加及其所产生的钉扎作用是导致加工硬化的决定性因素。

6.（6 分）答：由于键的内旋使大分子链的空间形状每时每刻都在变化着，大分子链时而蜷曲时而伸展。大分子链由于内旋转的缘故，总是要蜷曲成无规则线团状，由于组成不同的大分子链的内旋转能力差别很大，所以各种分子链的蜷曲倾向差别也很大。用柔性来表征大分子链的蜷曲特性，大分子链内旋转阻力小的称为柔性链，内旋转阻力大的称之为刚性链。

影响大分子链柔性的因素有：主链结构和侧基（取代基和交联）的性质。

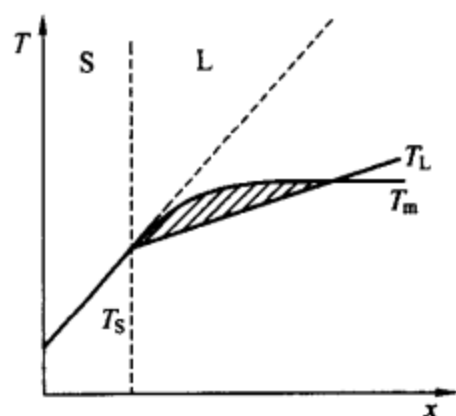
7.（5 分）答：溶质原子自浓度低处向浓度高处迁移的现象，称为上坡扩散。

从热力学角度，扩散是由于化学位的不同而引起的，各组元的原子总是由高化学位区向低化学位区扩散，扩散的真正推动力不是浓度梯度，而是化学梯度。

8. (4分) 答：能量起伏是指体系中微小体积所具有的能量偏离体系的平均能量，而且微小体积的能量处于时起时伏，此起彼伏状态的现象。

均匀形核时，液、固之间的体积自由能差只能补偿形成临界晶核表面所需能量的 $2/3$ ，而不足的 $1/3$ 则需依靠液相中存在的能量起伏来补充。

9. (4分) 答：由下图可以看出，尽管液相的实际温度以液-固界面处最低，但由于此



处液相的熔点也最低，因而使界面处液相过冷度极小，几乎接近于零，而距界面稍远处的液相反而有较大的过冷度。这种由液相成分变化与实际温度分布所决定的特殊过冷现象称为成分过冷，图中阴影区称为成分过冷区。

它对液-固界面的形貌影响为：成分过冷由小到大，液固界面的形貌由平面状过渡到胞状再到树枝状。

10. (6分) 答：离子晶体结构中，与某一个正离子成配位关系而邻接的各个负离子中心连线所构成的多面体。在该负离子配位多面体，正负离子之间的距离取决于离子的半径之和，正离子的配位数则取决于正负离子半径之比，而与离子的价数无关。

NaCl 结构，可视为由 Cl^- 的配位八面体连接成， Na^+ 占据全部八面体中央。NaCl 晶格就是由钠氯八面体 $[\text{NaCl}_6]$ 按一定方式连接成。

11. (4分) 答：微观对称元素——旋转轴。 3_2 螺旋轴相应的对称变换为围绕旋转轴旋转 120° 和沿此轴向平移 $2/3$ 。结点间距。

12. (6分) 答：I - α ；II - $\alpha + \beta$ ；III - $\alpha + \beta + \gamma$ ；IV - $\alpha + (\alpha + \beta)$ ；V - $\alpha + (\alpha + \beta) +$ 少量固 γ ；VI - $\alpha + (\alpha + \beta) + (\alpha + \beta + \gamma)$ 。

13. (6分) 答：由于陶瓷粉末烧结时难以避免显微空隙，冷却或热循环时热应力产生显微裂纹。裂纹尖端由于应力集中，使得裂尖最大应力可达到理论屈服强度，由于陶瓷晶体中可动位错很少，位错运动困难，所以一达到屈服强度就断裂。故陶瓷的理论屈服强度很高，但其实际拉伸强度或断裂强度却很低。而压缩时，显微裂纹或者闭合或者呈稳态地缓慢扩展，并转向平行于压缩轴。故其压缩强度比拉伸强度约高一个数量级。

14. (4分)

答：(1) 温度：T 越高，晶粒越粗大；

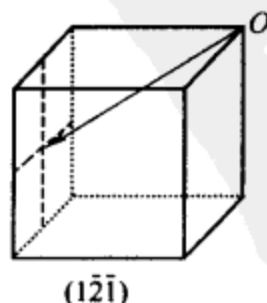
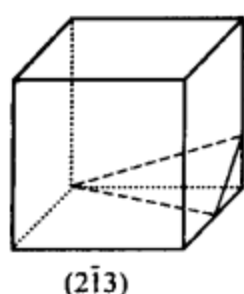
(2) 第二相粒子：越弥散、细小，抑制长大效果越好；

(3) 位向差：位向差小，晶界迁移速度慢；

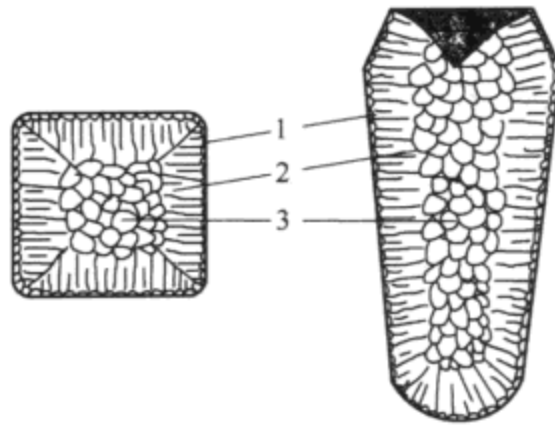
(4) 微量溶质或杂质：显著降低晶界迁移速度。

三、计算与作图题 (共计 38 分)

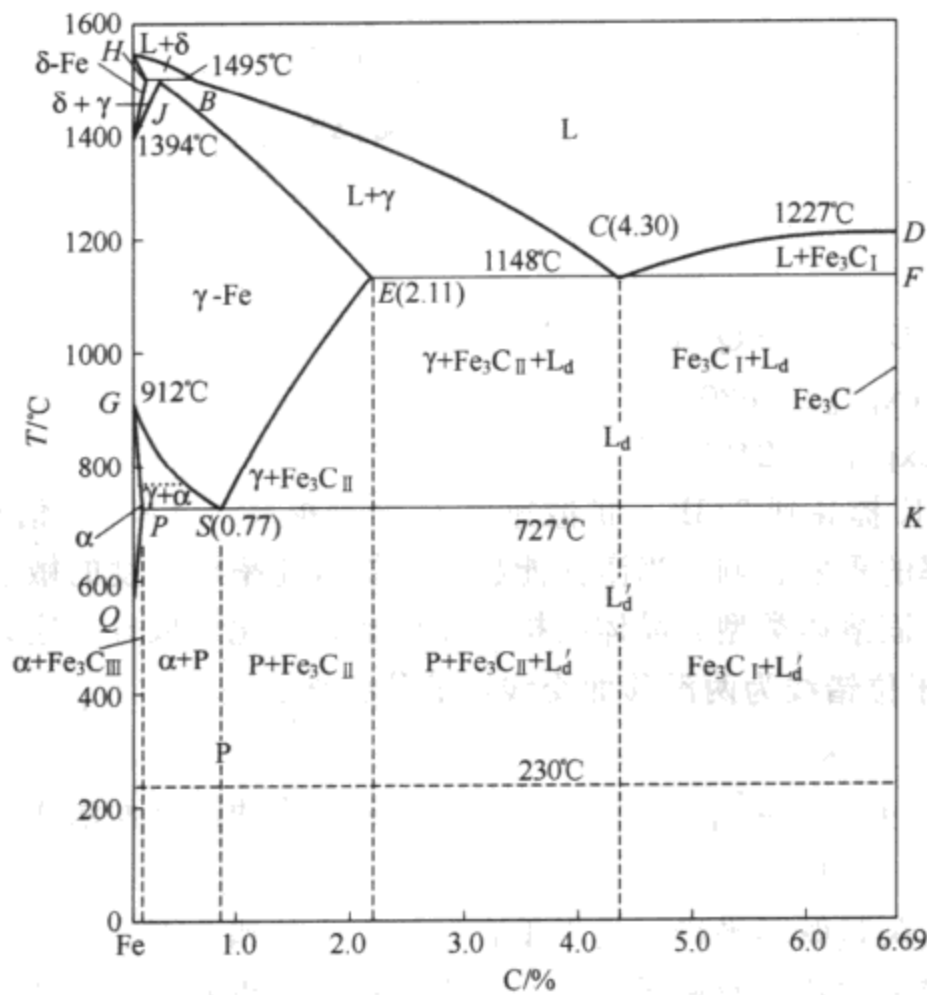
1. (6分)



2. (6 分)



3. (8 分) (1) 按组织标注 Fe-Fe₃C 相图：



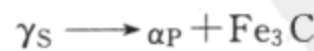
① 在 HJB 水平线 (1495°C) 发生包晶转变：



② 在 ECF 水平线 (1148°C) 发生共晶转变：



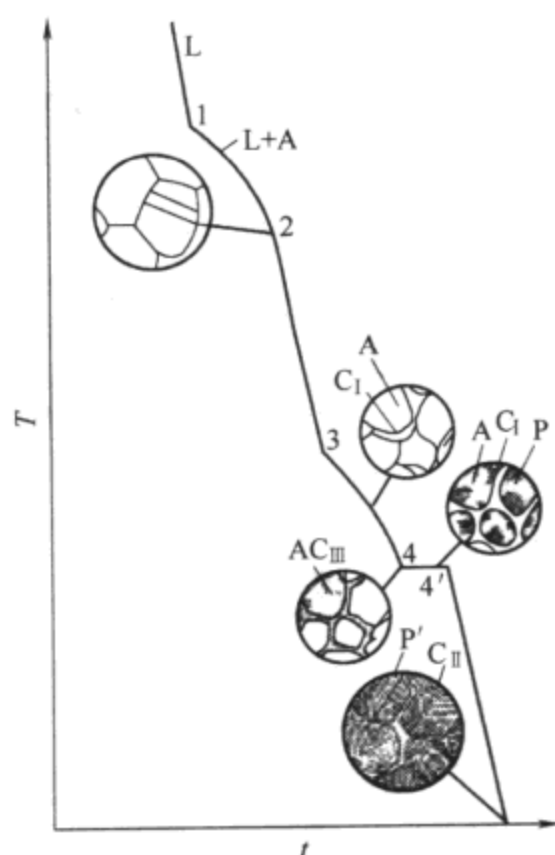
③ 在 PSK 水平线 (727°C) 发生共析转变：



(2) 室温下它由 α 铁素体和 Fe_3C 渗碳体两相组成：(8 分)

$$\alpha \text{ 铁素体}(\%) = (6.69 - 1.3) / 6.69 = 80.1\%$$

$$\text{Fe}_3\text{C} \text{ 渗碳体}(\%) = 1 - 80.1\% = 19.9\%$$



四、(10 分)

(1) 解：由 $D = D_0 \exp(-Q/RT)$ ，得

$$D_{873K}/D_{298K} = \exp\{[(-82000)/8.314] \times [(473-873)/(873 \times 473)]\} = 1.4 \times 10^4$$

$$D_{873K}/D_{298K} = \exp\{[(-248000)/8.314] \times [(473-873)/(873 \times 473)]\} = 3.5 \times 10^{12}$$

对于温度从 473K 提高到 873K，扩散速率 D 分别提高 1.4×10^4 倍和 3.5×10^{12} 倍，显示出温度对扩散速率的重要影响。当激活能越大，扩散速率对温度的敏感性越大。

(2) 答：温度、固溶体类型、晶体结构、晶体缺陷、化学成分、应力的作用。

五、答：1. 由于位错线为两滑移面交线，故位错线：

$$\zeta = n_1 \times n_2 = \begin{vmatrix} i & j & k \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{1} & 1 \end{vmatrix} = [1 \ 0 \ \bar{1}] \quad (n_1, n_2 \text{ 分别为两滑移面法线矢量}); \quad (1 \text{ 分})$$

可见，位错线与柏氏矢量既不平行，也不垂直，该新生位错为混合型位错。(1 分)

已知该新生位错的位错线及柏氏矢量，可由它们叉乘得到新生位错滑移面的法向量：

$$n_3 = \zeta \times b = \begin{vmatrix} i & j & k \\ 1 & 0 & \bar{1} \\ 1 & 1 & 0 \end{vmatrix} = [1 \ \bar{1} \ 1], \text{ 该位错的滑移面为 } (1\bar{1}1). \quad (1 \text{ 分})$$

因该滑移面为面心立方的密排面，故该位错可以滑移。(1 分)

$$2. \cos\phi = \left| \frac{n_3 \times F}{|n_3| |F|} \right| = \frac{1}{\sqrt{1^2 + (-1)^2 + 1^2} \times \sqrt{1^2}} = \frac{1}{\sqrt{3}},$$

$$\cos\lambda = \left| \frac{b \times F}{|b| |F|} \right| = \frac{\frac{1}{2}}{\sqrt{\left(\frac{1}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2} \times \sqrt{1^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (2 \text{ 分})$$

根据 Schmid 定律，作用在新生位错滑移面的滑移方向上的分切应力为：

$$\tau_0 = \sigma \cos\phi \cos\lambda = 17.2 \times \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{\sqrt{2}} = 7.0 \text{ MPa} \quad (1 \text{ 分})$$

所以,作用在单位长度位错线上的力为:

$$f = \tau b = \frac{a\tau_0}{\sqrt{2}} = \frac{0.2 \times 10^{-9} \times 7 \times 10^6}{\sqrt{2}} = 10^{-3} \text{ N/m} \quad (1 \text{ 分})$$

其方向为垂直于位错线方向 $[10\bar{1}]$, 指向未滑移区。

六、(15 分) 解: 将大变形量轧制后的工业纯铝在 100°C 放置 12 天后, 其室温强度明显下降的原因是工业纯铝发生了再结晶 (3 分)。试验查得的 T_R 为 150°C 是指在 1 小时内完成再结晶的温度 (2 分), 而金属在大量变形后, 即使在低于 T_R 的退火温度, 只要保温足够的时间, 同样可以发生再结晶, 故该试样在 100°C 放置 12 天后完全有可能完成再结晶过程 (2 分)。

有两种方法可证明上述设想:

(a) 观察薄片试样的金相组织, 如果是等轴晶粒, 则可确认完成再结晶。

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

只要查得工业纯铝的再结晶激活能 Q , 将其他已知条件代入即可求得 T_2 , 若 T_2 低于 100°C , 说明在本题条件下可发生再结晶。(3 分)

东南大学 2004 年硕士研究生入学考试参考答案

一、选择题 (单项选择, 每题 2 分, 共 40 分)

1. d 2. c 3. b 4. d 5. d 6. d 7. c 8. d 9. a 10. d 11. a 12. c 13. d
14. b 15. a 16. d 17. c 18. b 19. a 20. a

二、(10 分) 答: 分别为 (130) , $(\bar{2}11)$, $(\bar{1}\bar{1}2)$, $[1\bar{1}1]$, $(2\bar{1}\bar{1}1)$ 。

三、(18 分)

1. 答: 两者不相同, 一般情况下, 非均匀形核的形核功小。这是因为非均匀形核时, 形核是在一定形核位置 (如模壁、形核剂颗粒等) 上进行的, 其形核功的大小取决于晶核和形核位置之间的界面能和接触角, 设晶胚的形状为球冠, 则非均匀形核功与均匀形核功之比为:

$$\frac{\Delta G_{\#}^*}{\Delta G_{\text{均}}^*} = \frac{2 - 3\cos\theta + \cos^3\theta}{4} = S(\theta)$$

一般情况下 $S(\theta) < 1$, 所以非均匀形核的形核功小于均匀形核的形核功。

只有在形核位置与金属完全不润湿的情况下, 此时 $S(\theta) = 1$, 即非均匀形核功的形核功才和均匀形核的形核功相等。

2. 答: 两者不同。平衡凝固是指在凝固过程中固相和液相的成分始终均匀, 而正常凝固只有液相的成分保持均匀。

3. 答: 不会, 因为纯金属中不会有成分不均匀的现象发生, 因此凝固过程中不会有边界层出现, 因而就不会有成分过冷。

4. 答: 不会。因为正常凝固时液相的成分始终保持均匀, 所以不会有边界层出现, 因而就不会有成分过冷。

5. 答: 主要取决于两个因素:

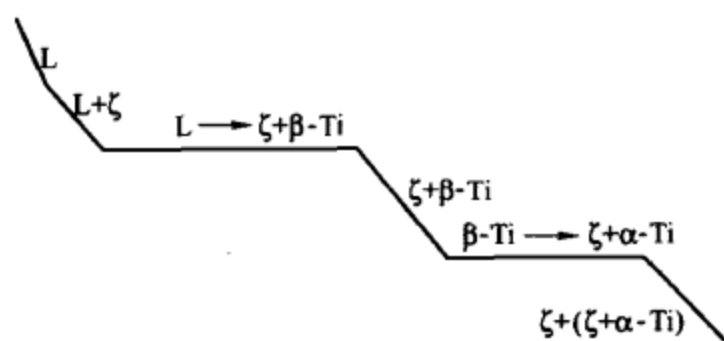
(1) 两相的体积分数, 如果有一相的体积分数小于 27% 时, 则形成棒状共晶, 否则形成片状共晶;

(2) 两相之间的界面能, 界面能小, 则形成片状共晶。一般情况下, 当两相有固定的位向关系时则可能形成片状共晶。

四、(8分)

- 1201°C $L \rightarrow \alpha + \epsilon$;
1319°C $L + \epsilon \rightarrow \zeta$;
1086°C $L \rightarrow \zeta + \beta\text{-Ti}$;
590°C $\beta(\text{Ti}) \rightarrow \zeta + \alpha\text{-Ti}$.

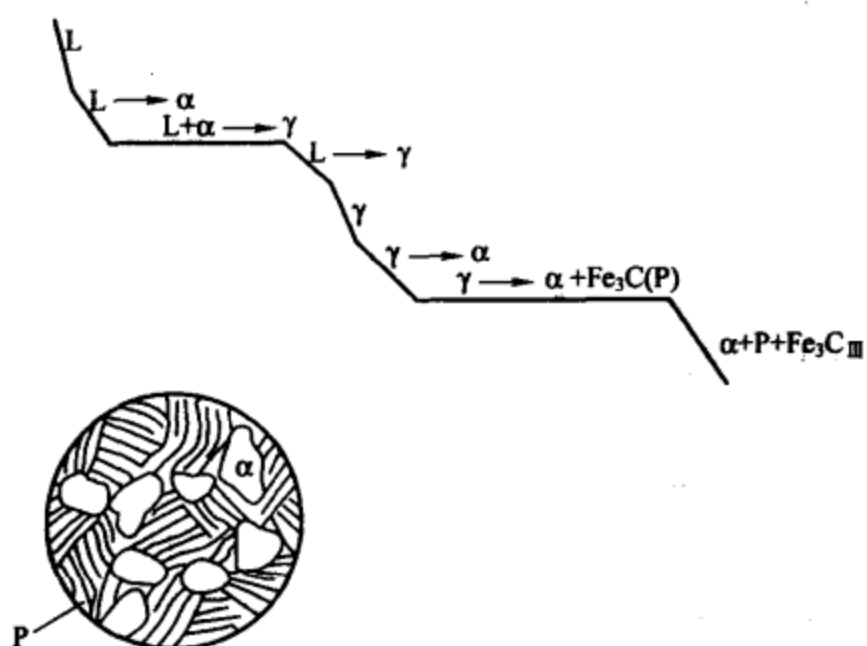
2.



五、(10分)

- 1154°C $L_{4.26} \rightarrow \gamma_{2.08} + C$ 共晶
HJB 1495°C $L_{0.53} + \alpha(\delta)_{0.09} \rightarrow \gamma_{0.1}$ 包晶
CF 1148°C $L_{4.3} \rightarrow \gamma_{2.11} + \text{Fe}_3\text{C}$ 共晶 (莱氏体 L_d)
PSK 727°C $\gamma_{0.77} \rightarrow \alpha_{0.0218} + \text{Fe}_3\text{C}$ 共析 (珠光体 P)

2.



$$3. \text{Fe}_3\text{C}\% = \frac{1.5 - 0.77}{6.69 - 0.77} \times 100\% = 12.3\%$$

六、(10分)

1. mnp
2. $L \rightarrow \alpha + \beta$; $L \rightarrow \alpha + \gamma$; $L \rightarrow \beta + \gamma$
3. $L \rightarrow \alpha + \beta + \gamma$; $L \rightarrow \alpha + \beta$
4. 没有四相平衡反应, 但有三相平衡反应, 反应式为: $L \rightarrow \alpha + \gamma$
5. $\alpha + (\alpha + \beta) + (\alpha + \beta + \gamma) + \beta_{II} + \gamma_{II}$

七、(5分) 四相平衡反应: $\text{SbSn} + L \rightarrow \beta\text{-Sn} + \text{Pb}$

四个三相区: $\beta\text{-Sn} + \beta\text{-Sn} + L$; $\text{Pb} + \text{SbSn} + L$; $\text{Pb} + \text{SbSn} + \beta\text{-Sn}$; $\beta\text{-Sn} + \text{Pb} + L$.

八、(4分) P点: $L + \text{Pb} \rightarrow \text{Sn} + \beta$; E_T 点: $L \rightarrow \text{Bi} + \text{Sn} + \beta$.

九、(8分) 答：根据材料屈服强度与晶粒尺寸的霍尔-佩奇关系： $\sigma_s = \sigma_0 + kd^{-\frac{1}{2}}$

有：
$$\sigma_s = \sigma_{s1} + \frac{d^{-\frac{1}{2}} - d_1^{-\frac{1}{2}}}{d_2^{-\frac{1}{2}} - d_1^{-\frac{1}{2}}} (\sigma_{s2} - \sigma_{s1})$$

所以：
$$\sigma_s = 100 + \frac{0.01^{-\frac{1}{2}} - 1}{0.04^{-\frac{1}{2}} - 1} (250 - 100) = 337.5 \text{ MPa}$$

十、(8分)

答：弥散第二相其强化机理主要是通过位错绕过机制和位错切过机制进行强化。当第二相为不可变形颗粒时，与位错之间的斥力较大，位错以奥罗万机制绕过第二相颗粒，每通过一个位错就会在第二相颗粒周围留下一个位错环，使后续位错绕过第二相颗粒的阻力不断增大。该强化效果在第二相颗粒体积分数一定时，随颗粒半径的减小强化效果增大。当第二相为可变形颗粒时，与位错之间的斥力较小，在外力作用下滑动位错将切过第二相颗粒，使新增界面面积增加，界面能升高，以及产生反相畴界、割阶，引起原子错排等都将使位错运动阻力增大实现强化。

十一、(11分) 答：由于在铝板中冲孔的过程中，实际上会在铝板中形成不均匀的塑性变形区，在孔的周围，材料发生了极大的塑性变形，随着与圆孔距离的增加，材料的变形程度逐渐下降，在远离孔的地方趋于零。图中应当能够体现以下组织特征：

(1) 孔周围再结晶晶粒非常细小（或者考虑可能存在的二次再结晶情况，孔周围晶粒异常长大，但稍远离孔的区域晶粒非常细小）；

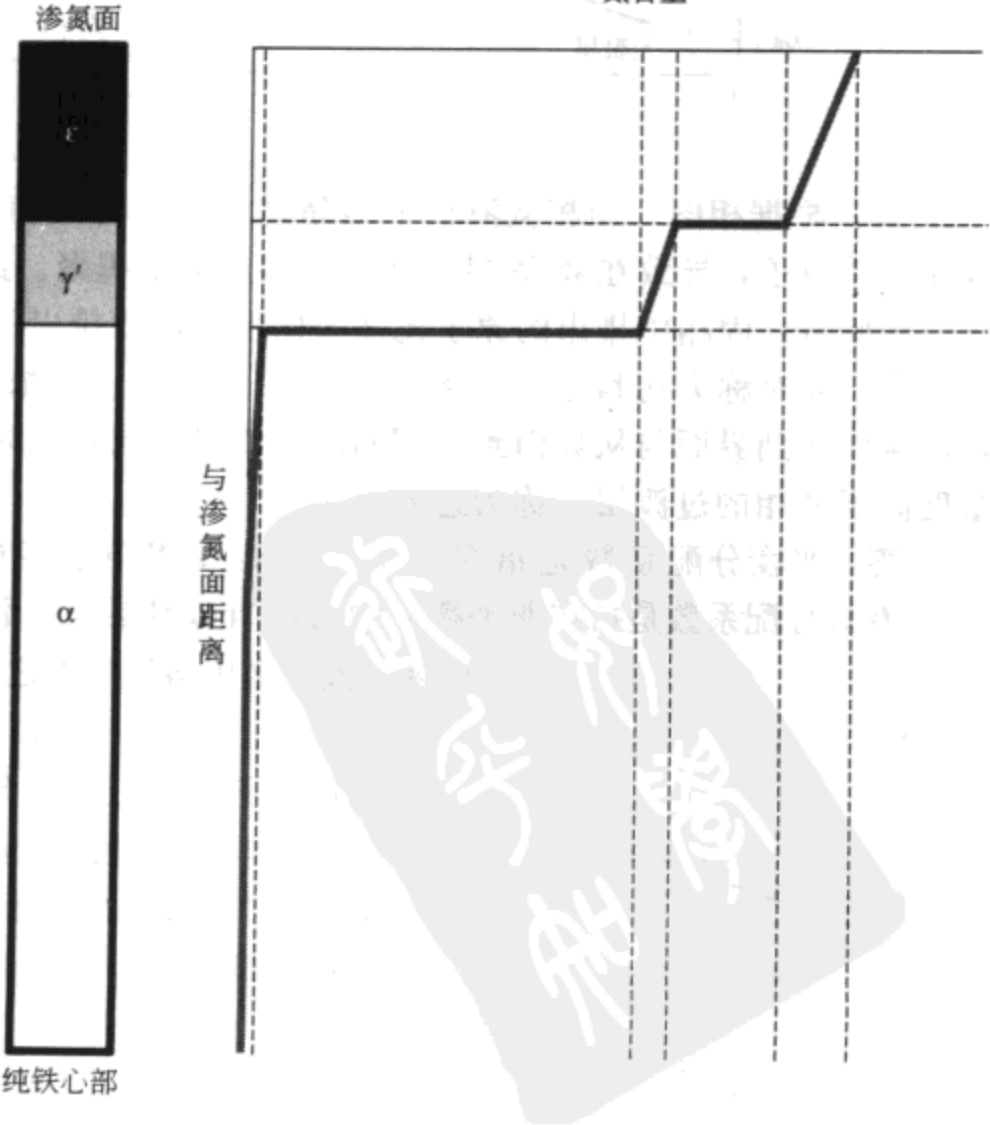
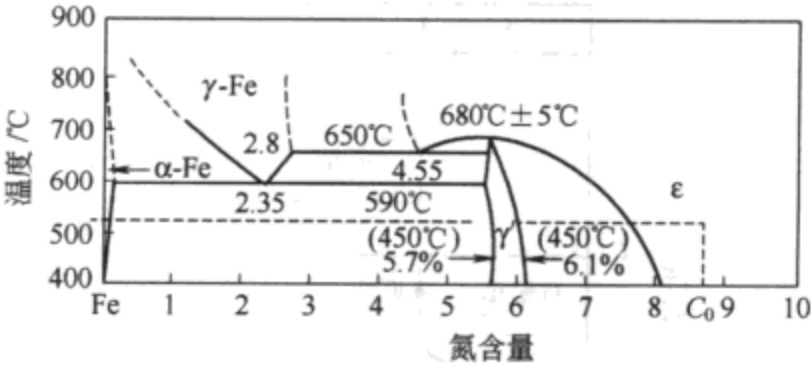
(2) 随着与孔距离的增加，再结晶后晶粒尺寸逐渐增大，但仍小于原晶粒尺寸；

(3) 在离孔某一距离处，由于处于临界变形量，再结晶完成后晶粒尺寸粗大；

(4) 小于临界变形量处，晶粒尺寸不变。

十二、答：所谓交滑移，是指螺型位错在不同的滑移面内沿相同的滑移方向同时或交替进行。根据本题的条件可知，只有 $(11\bar{1})$ 面符合。

十三、答：如图。渗层中共存在三个单相区，没有两相区存在；渗氮刚结束时沿渗层深度氮含量分布如图所示。

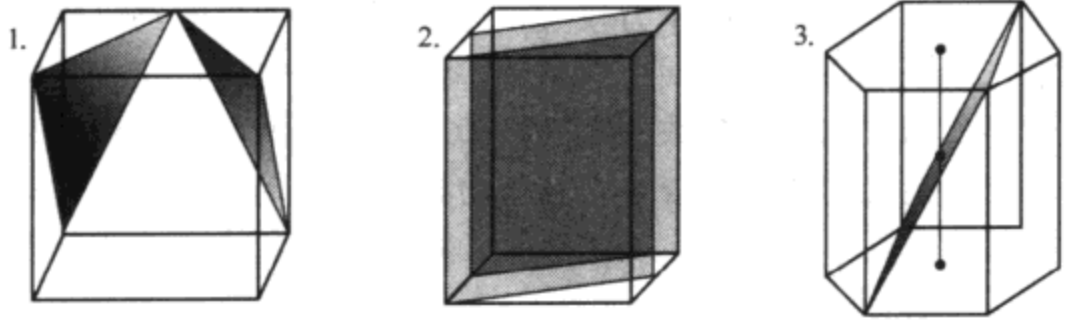


东南大学 2005 年硕士研究生入学考试参考答案

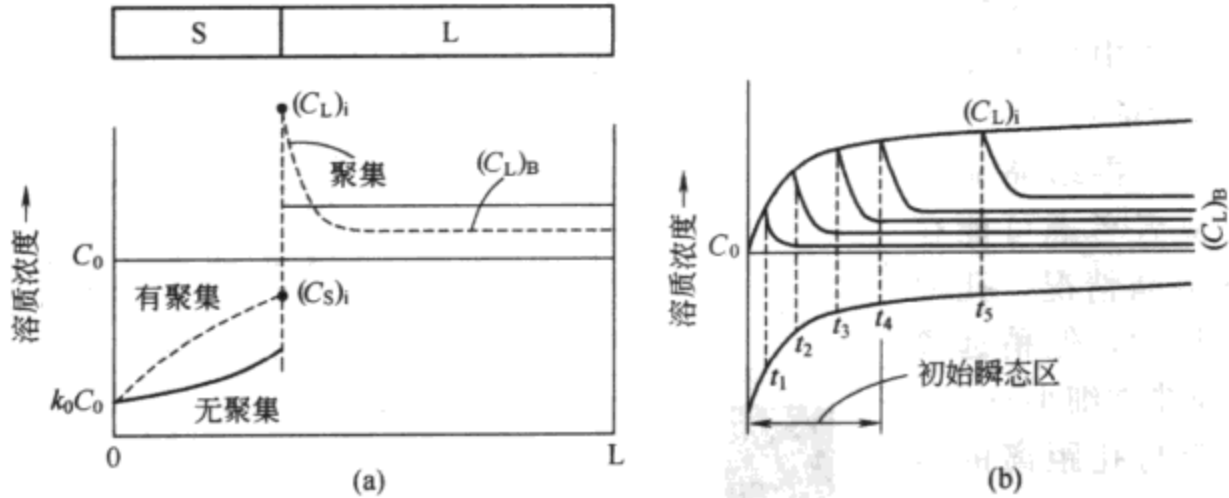
一、选择题 (单项选择, 每题 2 分, 共 40 分)

1. c 2. b 3. c 4. c 5. a 6. b 7. d 8. d 9. c 10. c 11. c 12. d 13. d
14. b 15. a 16. a 17. a 18. a 19. c 20. c

二、(10 分)

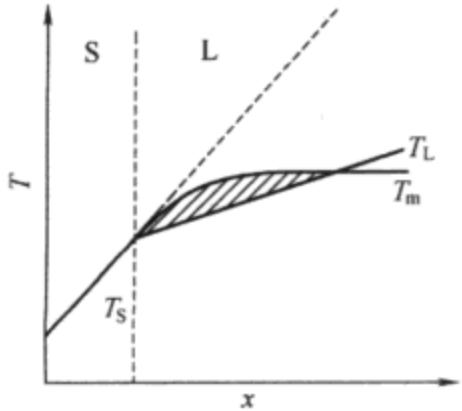


三、(16 分)



1. 答: 根据相图, 固相从液相中结晶时, 成分与液相不同, 因此在结晶过程中固相不断排除溶质原子, 导致在液-固界面液相侧溶质原子积聚。此时原子的运动路线是固相-界面-液相。开始时, 固相中排出的原子比从界面层向液相排出的原子多, 导致界面层上溶质原子浓度升高, 此时称为初瞬态。当溶质原子在界面层上的浓度高达一定程度时, 达到动态平衡, 即从固相到界面与从界面到液相的原子流量相同, 此时在固液相之间形成了一层溶质原子浓度高于液相的过渡层, 称为边界层。

2. 答: 平衡分配系数是指在平衡凝固时固相与液相中溶质浓度之比, 即 $k_0 = (C_S)_i / (C_L)_i$; 有效分配系数是指在非平衡凝固时, 当边界层建立后, 边界固相侧溶质浓度和边界层以外的液相区中溶质浓度之比, 即上图中 $k_e = (C_S)_i / (C_L)_B$ 。



3. 答: 当 $k_e = k_0$ 时, 出现正常凝固, 此时没有边界层, 液相内成分完全均匀; 当 $k_e = 1$ 时, 铸锭内成分最均匀; 当 $k_e = k_0$ 时, 即正常凝固时成分最不均匀。

4. 答: 如左图虚线所示, 当边界层中温度梯度与边界层浓度分布曲线相切时, 是成分过冷的临界条件。若温度分布曲线斜率小于切线斜率时则有成分过冷, 反之则没有成分过冷。

四、(8 分)

答：(1) 形核功 ΔG^* 是指形成一个临界晶胚所需要的能量，这个能量是靠系统能量起伏提供的。

(2) 临界半径是指临界晶胚的半径。临界晶核是指结晶开始时，晶胚的形成与长大需要靠系统能量起伏提供能量；当晶胚长大到一定大小时，能量达到极大值，继续长大，系统能量下降，此时的晶胚半径称为领结半径。

(3) 形核率是指单位时间和单位体积内形成的晶核数。

(4) 接触角 θ 的大小主要与晶核与基底之间的界面能有关，界面能越小，接触角越小。

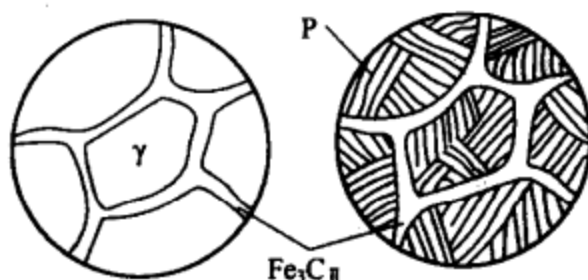
五、(5 分)

答：736℃	包晶反应	$L + Ag \longrightarrow \beta$
640℃	包晶反应	$L + \beta \longrightarrow \delta$
470℃	包析反应	$\beta + \delta \longrightarrow \gamma$
440℃	共析反应	$\beta \longrightarrow Ag + \gamma$
230℃	共析反应	$\gamma \longrightarrow \beta' + \delta'$

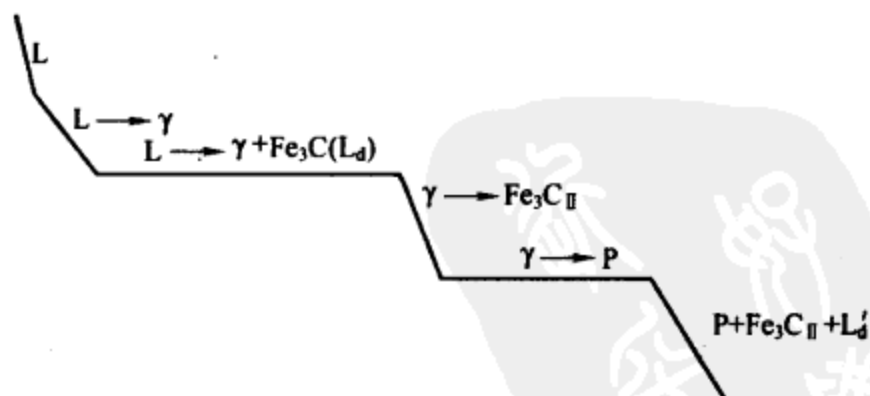
六、(10 分)

1. 答：HJB	1495℃	$L_{0.53} + \alpha_{0.09} \longrightarrow \delta$	包晶
	1154℃	$L_{4.26} \longrightarrow \gamma_{2.08} + C$	共晶
CF	1148℃	$L_{4.3} \longrightarrow \gamma_{2.11} + Fe_3C_{II}$	共晶 (莱氏体 L_d)
PSK	727℃	$\gamma_{0.77} \longrightarrow \alpha_{0.0218} + Fe_3C$	共析
	738℃	$\gamma \longrightarrow \alpha + C$	

2. 答： $Fe_3C\% = \frac{1.2 - 0.77}{6.69 - 0.77} \times 100\% = 7.26\%$



3.



答：有二次渗碳体，百分数为：

$$Fe_3C\% = \frac{4.3 - 3.5}{4.30 - 2.11} \times \frac{2.11 - 0.77}{6.69 - 0.77} \times 100\% = 36.53\% \times 22.6\% = 8.3\%$$

七、(10 分)

答：1. 四相区： $abP'c$ 。

2. 有, 分别是:

A-B 系 $L + \alpha \longrightarrow \beta$

B-C 系 $L \longrightarrow \beta + \gamma$

C-A 系 $L \longrightarrow \gamma + \alpha$

3. $L + \alpha \longrightarrow \beta + \gamma$; 四相平衡反应后进入三相区, 发生 $L \longrightarrow \beta + \gamma$ 三相平衡反应。

4. 没有四相平衡反应, 只有三相平衡反应, 反应式为: $L + \alpha \longrightarrow \beta$ 。

八、(6 分)

答: 1. 四相平衡包共晶反应: $\gamma + C_2 \longrightarrow \alpha + C_1$ 。

2. $L + \alpha + \gamma$ 相区发生包晶反应: $L + \alpha \longrightarrow \gamma$;

$\alpha + \gamma + C_2$ 相区发生共析反应: $\gamma \longrightarrow \alpha + C_2$ 。

3. 不能, 因为这两个四相区 (水平线) 在垂直界面上没有与四个三相区相连。

九、(8 分)

答: (1) 滑移和孪生的比较

a. 相同点

宏观上, 都是切应力作用下发生的剪切变形;

微观上, 都是晶体塑性变形的的基本形式, 是晶体的一部分沿一定晶面和晶向相对另一部分的移动过程;

不改变晶体结构;

从机制上看, 都是位错运动结果。

b. 不同点

滑移不改变位相;

滑移是全位错运动的结果, 而孪生是不全位错运动的结果;

滑移变形不均匀;

滑移比较平缓, 应力-应变曲线较光滑、连续;

两者发生的条件不同;

滑移产生的切变较大 (取决于晶体的塑性), 而孪生切变较小, 取决于晶体结构。

(2) 在塑性变形过程中的作用 滑移可能产生很大的变形量, 而孪生只能产生有限的变形, 但是通过孪生可以改变晶体的位向, 从而可能使得原来无法开动的滑移系能够开动, 从而改善晶体的塑性变形能力。

十、(10 分) 答: 在单相纯铜中引入弥散分布第二相颗粒后, 其塑性变形、再结晶过程和强度都会发生一系列变化:

(1) 对塑性变形过程, 由于颗粒的引入, 导致塑性变形的位错运动受阻, 可能在颗粒附近塞积 (普通颗粒), 也可能切过颗粒 (颗粒非常小);

(2) 在再结晶过程中, 如果颗粒尺寸较大, 则会起到促进再结晶作用, 如果颗粒尺寸很小, 则会起到阻碍再结晶的作用;

(3) 由于弥散颗粒对位错有阻碍作用, 因此可以使得材料得到强化。其强化效果受颗粒尺寸、分布、种类以及与基体的结合有关, 在本课程知识范围内, 颗粒尺寸越细、含量越高, 其强化效果也越好。

十一、(10 分) 答: 达到稳定状态后, 可以认为在有限时间内钢瓶内、外氢压力不变, 因此钢瓶内部的氢浓度分布也不随时间发生变化, 可以考虑采用扩散第一定律。

$$(1) J = -D \frac{\partial C}{\partial x}$$

而钢瓶内壁 $C=k\sqrt{p_0}$ ，钢瓶外壁 $C'=0$

$$\text{因此, } J = -D \frac{\partial C}{\partial x} = -Dk \frac{\sqrt{p_0}}{h}$$

(2) 依据上式, 可能采取的措施有: 改变容器材料, 以减小 D 和 k ; 降低容器内所储存氢气压力 p ; 增加容器壁厚 h 。

十二、(10 分) 答: (1) 几何条件满足; 能量条件满足。因此此反应可自发进行。
(2) 依次分别为全位错 (单位位错)、肖克莱不全位错、弗兰克不全位错。(3) 反应生成的新位错不能在滑移面上运动。

十三、(7 分) 答: 纯金属晶体中, 点缺陷的主要类型是空位、间隙原子、空位对及空位与填隙原子对。(要求至少答对其中前两种)

它们产生的途径有以下几个方面: (要求至少答对其中两种)

(1) 依靠热振动使原子脱离正常点阵位置而产生。空位、间隙原子或空位与间隙原子对都可由热激活而形成。这种缺陷受热的控制, 它的浓度依赖于温度, 随温度升高, 其平衡态的浓度亦增高。

(2) 冷加工时由于位错间有交互作用。在适当条件下, 位错交互作用的结果能产生点缺陷, 如带割阶的位错运动会放出空位。

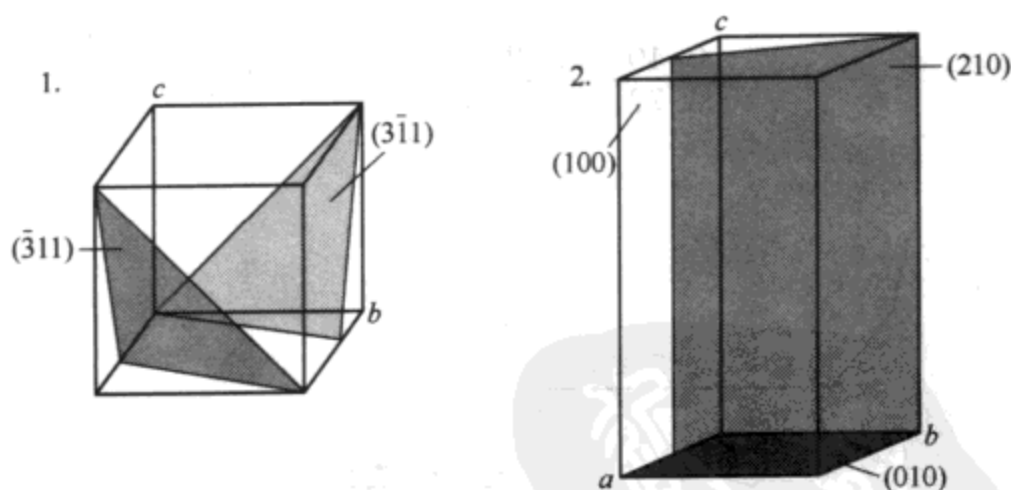
(3) 辐照。高能粒子 (中子、 α 粒子、高速电子等) 轰击金属晶体时, 点阵中的原子由于粒子轰击而离开原来位置, 产生空位或间隙原子。

东南大学 2006 年硕士研究生入学考试参考答案

一、选择题 (单项选择, 每题 2 分, 共 40 分)

1. c 2. c 3. c 4. d 5. d 6. a 7. d 8. d 9. b 10. a 11. c 12. b 13. a
14. a 15. d 16. a 17. c 18. d 19. d 20. d

二、作图题 (10 分)



三、(8 分)

答: $\Delta G = V\Delta G_V + A\sigma$ 其中, A 是晶胚面积, σ 是单位面积的界面能。

设晶胚为立方体, $\Delta G = a^3\Delta G_V + 6a^2\sigma$

$$\frac{d(\Delta G)}{da} = 3a^2\Delta G_V + 12a\sigma$$

令 $\frac{d(\Delta G)}{da} = 0$, 得:

$a^* = \frac{-4\sigma}{\Delta G_V}$, 代入后得:

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

$\therefore \Delta G_V = -\frac{L_m \Delta T}{T_m}$, 代入 a^* 和 ΔG^* 得:

$$a^* = \frac{4\sigma T_m}{L_m \Delta T}, \quad \Delta G^* = \frac{32\sigma^3 T_m^2}{(L_m \Delta T)^2}$$

$\therefore A^* = 6a^{*2}$

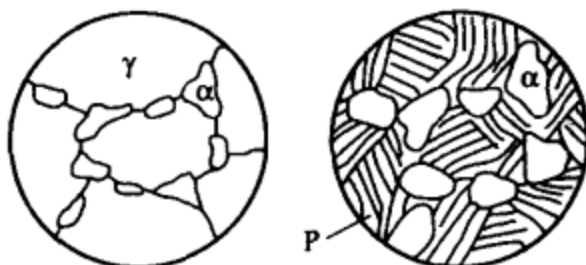
$\therefore \Delta G^* = \frac{1}{3} A^* \sigma$

四、(8分) 答: 图(b) 中的曲线表示边界层附近的温度分布, 图(c) 表示边界层中的浓度分布, 而图(d) 则表示边界层中的熔点随距离变化的曲线。如果图(b) 中的曲线与图(d) 中的曲线相交时则会有成分过冷, 如图(e) 所示。

五、(5分) 答: I $L + \alpha \rightarrow \beta$; II $L + \beta \rightarrow \gamma$; V $\gamma \rightarrow \alpha + \delta$; VI $\delta \rightarrow \alpha + \epsilon$; X $\gamma \rightarrow \epsilon + L$ 。

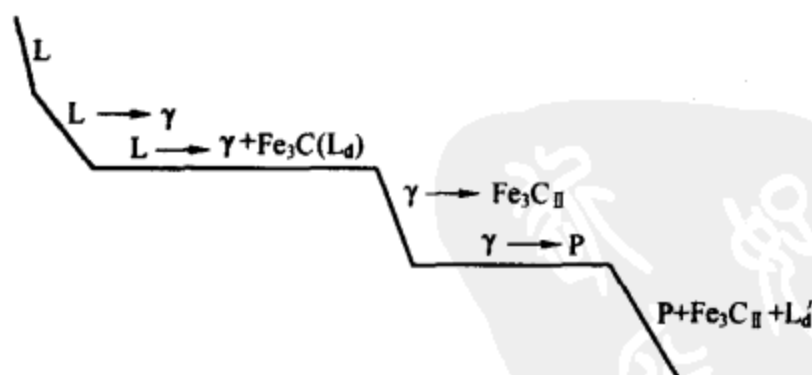
六、(10分) 答: 1. 分别有: 三次渗碳体, 在铁素体中析出的渗碳体; 共析渗碳体, 在 727℃ 发生共析反应时生成的渗碳体; 二次渗碳体, 在含碳量在 0.77~2.11 之间的钢平衡冷却至 1148℃ 以下从 γ 相中析出的渗碳体, 共晶渗碳体共晶反应时生成的渗碳体; 初生渗碳体, 共晶反应前生成的渗碳体 (含碳量大于 4.3)。

2.



$$P\% = \frac{0.40 - 0.0218}{0.77 - 0.0218} \times 100\% = 51\%$$

3.



七、(15分) 答: 1. 包共晶反应区是个四边形, 它的上下方各与两个三相区相连。但不和两相区和单相区相连, 因为根据相区接触法则, 相邻相区的相数差为 1。

2. 四相平衡共晶反应区的液相成分点在三角形的中间, 但四相平衡包晶反应区的液相成分点在三角形的一个顶点上。共晶反应区的上方与三个三相区相连, 下方与一个三相区相连, 而包晶反应区上方与一个反应区相连, 下方与三个三相反应区相连。

3. 发生四相平衡包晶反应, 反应式 $L + \alpha + \beta \longrightarrow \gamma$ 。

4. A-B 系 共晶 $L \longrightarrow \alpha + \beta$

B-C 系 包晶 $L + \beta \longrightarrow \gamma$

A-C 系 包晶 $L + \alpha \longrightarrow \gamma$

5. 略。

八、(8 分) 答: 在 800°C 以下有两个四相平衡反应: $\gamma + C_2 \longrightarrow \alpha + C_1$; $\gamma + C_1 \longrightarrow \alpha + C_3$; 1 相区 $L + \alpha + \gamma$; 2 相区 $\gamma + C_1 + C_2$; 5 相区 $\alpha + C_1 + C_3$ 。

4 相区内发生的反应 $\gamma + L \longrightarrow C_3$ 。

九、(10 分) 答: 1. $\frac{a}{2}[\bar{1}\bar{1}0]$ 。

2. $[11\bar{2}]$ 、 $[1\bar{1}0]$ 。

3. $[1\bar{1}0]$ 、 $[\bar{1}\bar{1}2]$ 。

十、(10 分) 答: 加工硬化是指金属晶体在塑性变形过程中, 材料的强度随着塑性形变量的增加而增加。加工硬化产生的主要机制有位错塞积、林位错阻力和形成割阶时产生对位错运动的阻力及产生割阶消耗外力所做的功, 宏观表现出金属强度提高。

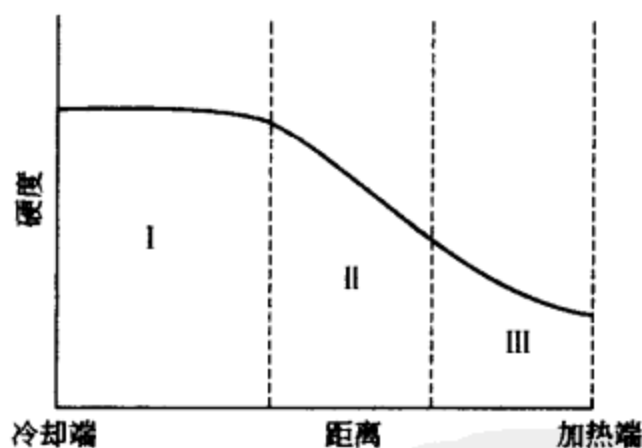
固溶强化指金属中由于溶质原子的存在, 使得其强度提高。固溶强化的根本原因在于溶质原子与位错的交互作用, 这种交互作用又分为溶质沿位错聚集并钉扎位错的弹性交互作用和化学交互作用两类。

分散强化依靠弥散分布与金属基体中的细小第二相强化金属。其强化的原因在于细小第二相与位错的交互作用, 主要有位错绕过颗粒的 Orowan 机制以及位错切过颗粒机制。

细晶强化, 依据 Hall-Patch (略)。

这些强化方式的共同点也就是金属强化的实质, 在于增加了位错运动的阻力。

十一、(8 分) 答: 沿棒长度的硬度分布曲线示意如图:



在整根棒的长度上, 由于温度不同, 经历了回复、再结晶和晶粒长大三个过程。

第 I 区域, $T < T_R$, 仅发生回复, 硬度略有下降。

第 II 区域, 发生再结晶, 硬度大大下降, 且随温度升高, 同样 1 小时内完成再结晶的体积百分数增大, 硬度随之下降。

第 III 区域, 晶粒长大, 晶界对位错运动阻碍较小, 故硬度进一步降低。

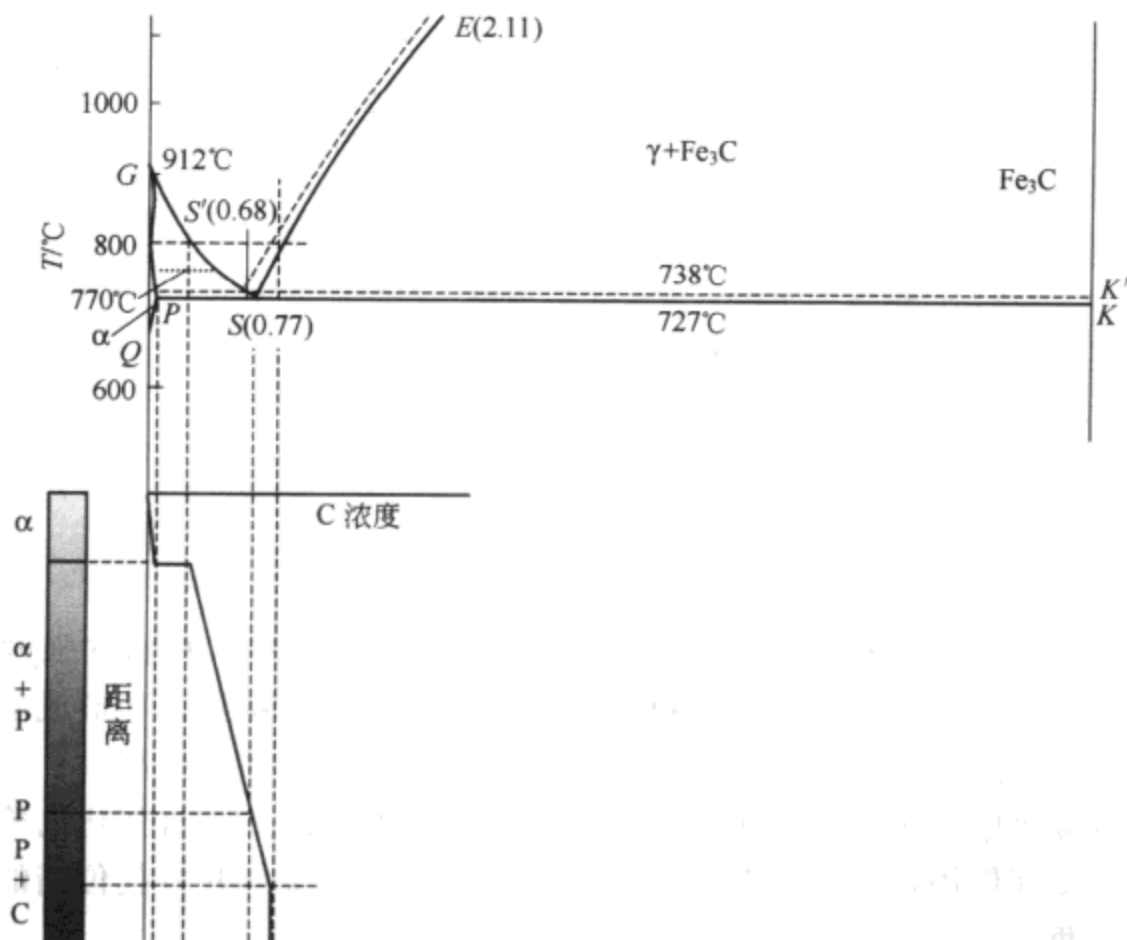
十二、(8 分) 答: $\frac{a}{2}[\bar{1}\bar{1}0] + \frac{a}{6}[1\bar{1}2] \longrightarrow \frac{a}{3}[\bar{1}\bar{1}1]$

(1) 几何条件满足; 能量条件满足。因此此反应可自发进行。

(2) 依次分别为全位错 (单位位错)、肖克莱不全位错、弗兰克不全位错。

(3) 反应生成的新位错不能在滑移面上运动。

十三、(10 分)



合肥工业大学 2004 年硕士研究生入学考试参考答案

一、名词解释 (24 分, 每题 4 分)

1. 致密度: 是反映晶体中原子排列紧密程度的参数, 常用单位晶胞中原子所占体积与晶胞体积之比表示, 致密度越高, 原子排列越紧密。
2. 间隙化合物: 是过渡族金属元素与碳元素在负电性相差较大, 原子半径比 $r_B/r_A \geq 0.59$ 时, 形成的结构复杂并不同于两组元的中间相。它具有高的硬度, 是钢中的重要强化相。
3. 离异共晶: 成分靠近共晶线两端的合金, 由于结晶时初生相很多, 剩余液相很小。在共晶体中与初生相相同的一相依附在初生相上生长, 而把另一相推到最后凝固的晶界处或枝间, 使共晶失去了典型共晶组织的形态, 这种组织称为离异共晶。
4. 成分过冷: 固溶体合金在不平衡凝固时, 使液固界面前沿的液相中形成溶质集层, 因富集层中各处的合金成分不同, 具有不同的熔点, 造成液固界面前沿的液相处于不同的过冷状态。这种由于液固界面前沿合金成分不同而造成的过冷称为成分过冷。
5. 反应扩散: 伴随有化学反应或相变的扩散过程称为反应扩散或相变扩散, 反应扩散速度主要受化学反应和原子扩散速度控制。
6. 固定位错: 位错的滑动面不是晶体的滑移面, 这样的位错不能滑动称为不动位错或固定位错。如弗兰克位错、洛玛位错、洛玛-柯垂耳位错等都是固定位错, 它们相当于障碍物, 能造成位错塞积。

二、填空 (34 分, 每空 1 分)

1. 4; $\frac{\sqrt{2}}{4}a$; 12; 0.74; 大
2. 已滑移; 未滑移; 晶格畸变; 垂直; 平行; 垂直; 平行
3. 大于 10° ; 大; 共格; 半共格; 非共格; 位向; 结构; 共格

4. 过渡族金属；非金属；较大；小于；简单；不同；熔点；硬度；较大；强化

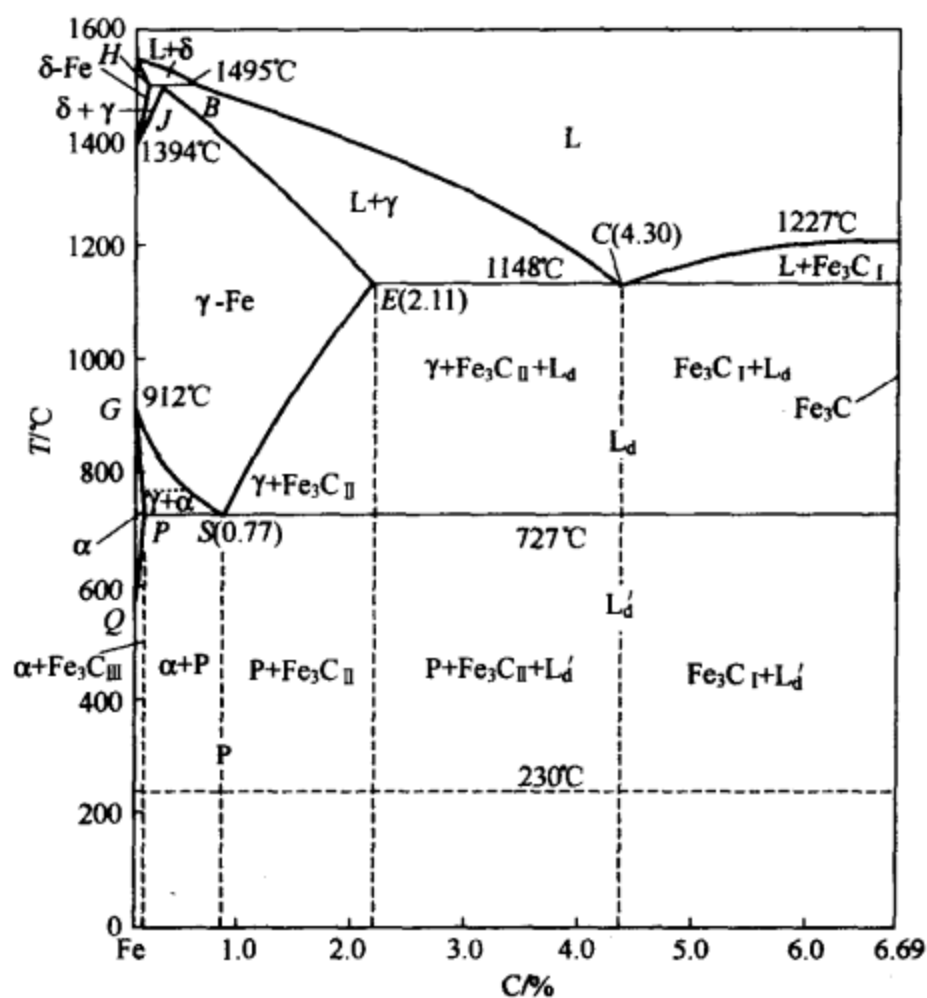
5. 化学位梯度；空位机制；间隙机制；慢

三、判断题 (12 分, 每题 1 分)

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

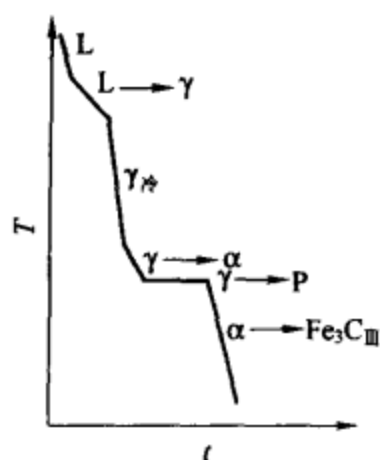
四、相图题 (20 分)

1. 答: Fe-Fe₃C 相图为

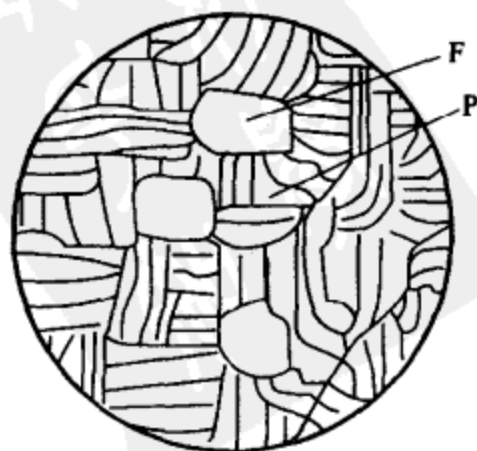


2. 答: 含碳 0.65% 的铁碳合金在液相线 BC 以上为液相 L, 当冷却到液相线 BC 以下时, 开始发生匀晶转变 $L \rightarrow \gamma$, 在液固相线之间随温度的降低, $L\% \downarrow$, $\gamma\% \uparrow$, 它们的成分分别沿液固相线变化, 在冷却到固相线 JE 时液相消失, 全部转变为 γ 相, 继续冷却 γ 相的成分不变但温度降低; 在冷却到 GS 线时, γ 相发生同素异晶转变 $\gamma \rightarrow \alpha$, 形成先共析铁素体, 随温度的降低 $\gamma\% \downarrow$, $\alpha\% \uparrow$, 当冷却到 727°C 时, α 相的成分变为 0.0218% C, γ 相的成分变为 0.77% C, 发生共析转变 $\gamma \rightarrow P$ (珠光体); 继续冷却先共析铁素体和珠光体中的铁素体成分沿 PQ 线变析出三次渗碳体, 因量很少可忽略不计, 所以该合金在室温时得到的组织组成物为 $\alpha + P$; 相组成物为 $\alpha + Fe_3C$ 。

冷却曲线:



显微组织示意图:



$$3. \text{答: 相组成物含量: } \alpha\% = \frac{6.69 - 0.65}{6.69} \times 100\% = 90.28\%$$

$$\text{Fe}_3\text{C}\% = \frac{0.65}{6.69} \times 100\% = 9.72\%$$

$$\text{组织组成物含量: } \alpha\% = \frac{0.77 - 0.65}{0.77} \times 100\% = 15.58\%$$

$$\text{P}\% = \frac{0.65}{0.77} \times 100\% = 84.42\%$$

五、(12分) 答: 当第二相为固溶体或中间相时其强化机理不同。

(1) 若第二相为固溶体时, 其强化机理主要是固溶强化, 在外力作用下位错源开动后, 位错不断增殖, 位错与溶质原子发生弹性交互作用、化学交互作用和静电交互作用, 形成柯氏气团、铃木气团等, 使位错运动阻力增大实现强化。

(2) 若第二相为中间相时, 其强化机理主要是通过位错绕过机制和位错切过机制进行强化。当第二相为不可变形颗粒时, 与位错之间的斥力较大, 位错以奥罗万机制绕过第二相颗粒, 每通过一个位错就会在第二相颗粒周围留下一个位错环, 使后续位错绕过第二相颗粒的阻力不断增大。该强化效果在第二相颗粒体积分数一定时, 随颗粒半径的减小, 强化效果增大。当第二相为可变形颗粒时, 与位错之间的斥力较小, 在外力作用下滑动位错将切过第二相颗粒, 使新增界面积增加, 界面能升高, 以及产生反相畴界、割阶、引起原子错排等都将使位错运动阻力增大实现强化。

六、(12分) 答: (1) 低碳钢在冷拉伸变形时, 其工程应力-应变曲线上出现明显的上下屈服点和屈服伸长, 产生吕德斯带后应力-应变曲线按正常规律变化。若此时卸载后立即加载拉伸, 应力-应变曲线上不再出现屈服点, 试样不再产生屈服现象; 但若卸载后在常温下放置几天或在 $150 \sim 200^\circ\text{C}$ 保温几小时后, 再加载拉伸其应力-应变曲线上又会出现屈服现象, 并且屈服应力进一步提高, 即发生应变时效。(也可画图说明)

(2) 低碳钢冷拉伸变形时产生屈服现象和应变时效的原因是: 低碳钢中的少量碳、氮原子与晶体中的位错发生交互作用, 主要是弹性交互作用, 形成柯氏气团, 对位错起钉扎作用, 使其运动阻力增大, 导致应力-应变曲线上出现上屈服点, 当位错摆脱柯氏气团的钉扎作用后, 应力下降出现下屈服点, 发生屈服伸长; 继续变形, 由于位错密度增加产生应变硬化作用, 应力又复升高。这时卸载后立即加载, 由于位错已摆脱柯氏气团的钉扎作用, 故不出现屈服现象; 若放置一段时间或加热一定时间, 由于碳、氮原子又与位错发生交互作用形成柯氏气团, 故又出现屈服现象, 因位错密度的增加, 故此时的屈服应力升高。

七、(18分) 答: 冷变形金属的变形量必须大于临界变形量后, 并在再结晶温度以上加热时才能发生再结晶。其再结晶的机制是通过形成无畸变的新晶核和该晶核的长大, 来降低变形时造成的晶体缺陷的增加和储存能的升高; 具体形核机制有亚晶合并、亚晶长大和原晶界突出三种。再结晶的作用是消除加工硬化和残余内应力, 使变形金属的性能恢复到变形前的水平, 显微组织发生彻底改变; 而且通过正确控制再结晶的加热温度和保温时间, 还可达到细化晶粒的目的。

八、(8分) 答: 促进非均匀形核的基底与晶核的接触角 θ 越小, 越有利于促进非均匀形核; 由点阵匹配理论可知, 当基底与晶核的晶体结构、点阵常数越接近, 它们之间的界面能越小, θ 角越小。另外由静电作用理论可知, 当基底的导电性好其促进作用大。在 θ 角一定时, 基底为凹曲面时, 形成具有临界半径的晶核所需要的原子数少, 有利于促进非均匀形核。总之, 基底性质、基底形貌越有利, 基底数目越多, 促进作用越大。此外, 增大过冷度能降低临界形核功和临界晶核半径, 有利于促进非均匀形核。

九、任选一题 (10 分)

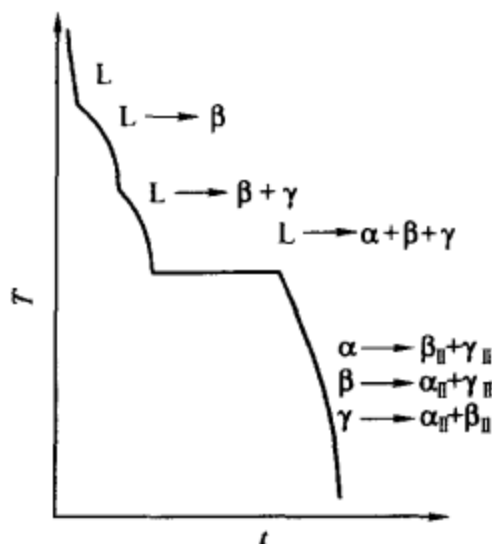
1. 答: 成分过冷是固溶体合金在不平衡凝固时, 由于液-固界面前沿产生溶质富集区, 富集区处合金液相的成分不同, 具有不同的凝固温度, 在一定的温度梯度时, 靠近液-固界面处合金凝固温度低, 过冷度较小, 在液-固界面稍远处合金的凝固温度较高, 过冷度较大, 这种由于液-固界面前沿合金成分随距离改变而造成的过冷称为成分过冷。

成分过冷区的形成在液-固界面前沿产生了类似负温度梯度的区域, 使液-固界面变得不稳定。当成分过冷区窄时, 液固界面的不稳定程度较小, 界面上偶然突出部分只能稍微超前生长, 使固溶体的生长形态为不规则胞状、伸长胞状或规则胞状; 当成分过冷区较宽时, 液-固界面的不稳定程度较大, 界面上偶然突出部分能较快超前生长, 使固溶体的生长形态为胞状树枝状或树枝状。所以成分过冷是造成固溶体合金在不平衡凝固时按胞状或树枝状生长的主要原因。

2. 答: ① $L \rightarrow \beta$; ② $L \rightarrow \beta + \gamma$; ③ $L \rightarrow \alpha + \beta + \gamma$; ④ $\alpha \rightarrow \beta_{II} + \gamma_{II}$, $\beta \rightarrow \alpha_{II} + \gamma_{II}$, $\gamma \rightarrow \alpha_{II} + \beta_{II}$ 。

室温时的组织组成物为: $\beta + (\beta + \gamma) + (\alpha + \beta + \gamma) + \alpha_{II} + \beta_{II} + \gamma_{II}$ 。

冷却曲线:



合肥工业大学 2005 年硕士研究生入学考试参考答案

一、名词解释 (24 分, 每题 4 分)

1. 空间点阵: 将构成晶体物质的分子、原子、离子或原子群的中心, 抽象成几何点, 它们具有相同的周围环境, 在三维空间构成的阵列。它是描述和分析晶体结构的周期性和对称性的几何图形。

2. 形核功: 液态金属凝固时形成临界晶核需的能量, 其值为表面能的三分之一, 依靠液态金属中的能量起伏提供。

3. 置换固溶体: 溶质原子溶入溶剂, 取代其晶格结点上的部分溶剂原子形成的固溶体, 它具有溶剂的晶体结构。

4. 比重偏析: 合金在凝固时由于先结晶出的固相密度比合金液体大或小, 从而造成其下沉或上浮导致合金完全凝固后铸锭上下成分不均匀的现象。

5. 交滑移: 晶体中两个或多个滑移面沿某个共同的滑移方向同时或交替进行的滑移。

6. 再结晶: 冷变形金属材料在较高温度加热发生的形核和长大过程, 它使变形金属的显微组织彻底改变, 性能恢复到变形前的水平。

二、填空题 (36 分, 每空 1 分)

1. 7; 14; 无限

2. 金属；非金属；较大；大于；复杂；不同；熔点；硬度；较大；强化
3. 切应力；滑移；滑移系；临界值；位错
4. 晶体缺陷；强度、硬度；塑性、韧性；回复；点；电阻率；减小；基本不变
5. 再结晶；降低；冷加工；热加工
6. $a/2\langle 110 \rangle$ ；肖克莱；层错；滑移；交滑移；攀移

三、判断题 (12分, 每题1分)

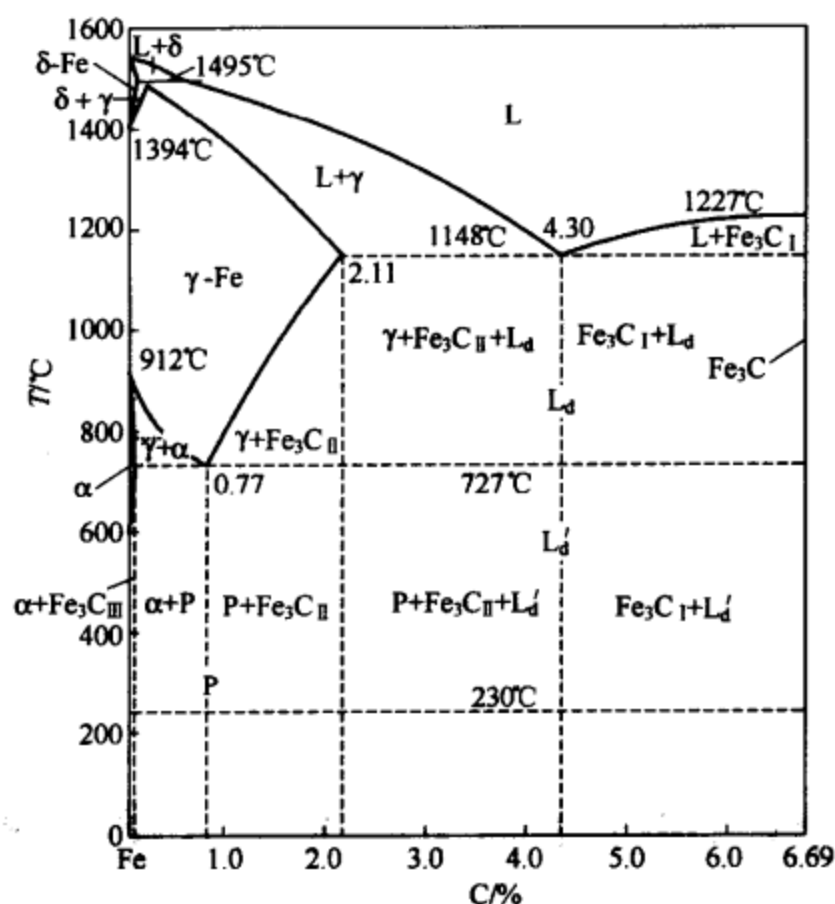
1. × 2. × 3. √ 4. × 5. √ 6. √ 7. × 8. √ 9. √ 10. × 11. √ 12. ×

四、单选题 (10分, 每题1分)

1. b 2. b 3. b 4. a 5. a 6. c 7. b 8. a 9. a 10. d

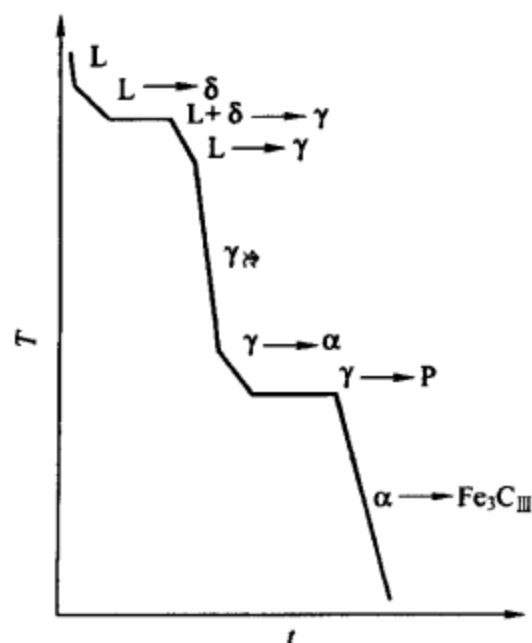
五、相图题 (22分)

1. (6分)



2. (8分) 答：① $L \rightarrow \delta$ ；② $L + \delta \rightarrow \gamma$ ；③ $L \rightarrow \gamma$ ；④ γ 冷却；⑤ $\gamma \rightarrow \alpha$ ；⑥ $\gamma \rightarrow P(\alpha + Fe_3C)$ ；⑦ $\alpha \rightarrow Fe_3C_{III}$ 。

冷却曲线：



显微组织：



3. (8分) 答: 组织组成物量:

$$P\% = (0.4/0.77) \times 100\% = 51.9\%$$

$$\alpha\% = (0.77 - 0.4)/0.77 \times 100\% = 48.1\%$$

相组成物量:

$$Fe_3C\% = (0.4/6.69) \times 100\% = 6\%$$

$$\alpha\% = (6.69 - 0.4)/6.69 \times 100\% = 94\%$$

六、(8分) 答: (1) 相同点: 结晶条件都需要过冷度, $\Delta G < 0$; 结晶过程都经过形核和长大。(2) 不同点: 纯金属是在恒温结晶, 其形核只需要能量起伏和结构起伏。而单相固溶体合金是在一个温度范围内结晶, 其形核不但需要能量起伏和结构起伏, 还需要成分起伏。

七、(14分)

答: (1) 条件: 金属的冷形变量必须大于临界形变量, 并在再结晶温度以上加热。

(2) 形核机制: 有亚晶合并、亚晶长大和原晶界突出三种。

(3) 过程: 通过形核和无畸变晶核的长大完成。

(4) 作用: 消除加工硬化和残余内应力, 使变形金属的性能恢复到变形前的水平, 显微组织发生彻底改变。通过正确控制加热温度和保温时间, 还可达到细化晶粒。

八、(12分)

答: (1) 晶体中的位错在外力作用下发生运动, 位错源开动不断增殖位错, 使晶体中位错密度大大增加。

(2) 位错运动受到点阵阻力, 位错之间发生交互作用, 形成割阶、缠结, 使其运动阻力增大。

(3) 位错之间发生位错反应, 形成固定位错, 造成位错塞积, 使位错运动阻力进一步增大。

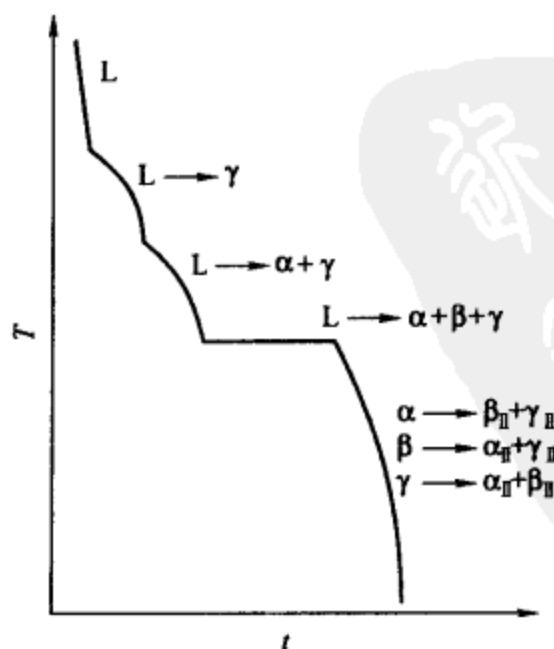
(4) 多晶体的晶界也会造成位错塞积, 阻碍位错运动。

九、任选一题 (12分)

1. 答: 溶质原子与位错的弹性交互作用形成柯氏气团; 溶质原子与位错的化学交互作用形成铃木气团, 它们都阻碍位错运动, 使固溶体强度、硬度升高, 塑性、韧性降低。

2. 答: ① $L \rightarrow \gamma$; ② $L \rightarrow \alpha + \gamma$; ③ $L \rightarrow \alpha + \beta + \gamma$; ④ $\alpha \rightarrow \beta_{II} + \gamma_{II}$, $\beta \rightarrow \alpha_{II} + \gamma_{II}$, $\gamma \rightarrow \alpha_{II} + \beta_{II}$

室温时的组织组成物为: $\gamma + (\alpha + \gamma) + (\alpha + \beta + \gamma) + \alpha_{II} + \beta_{II} + \gamma_{II}$ 。



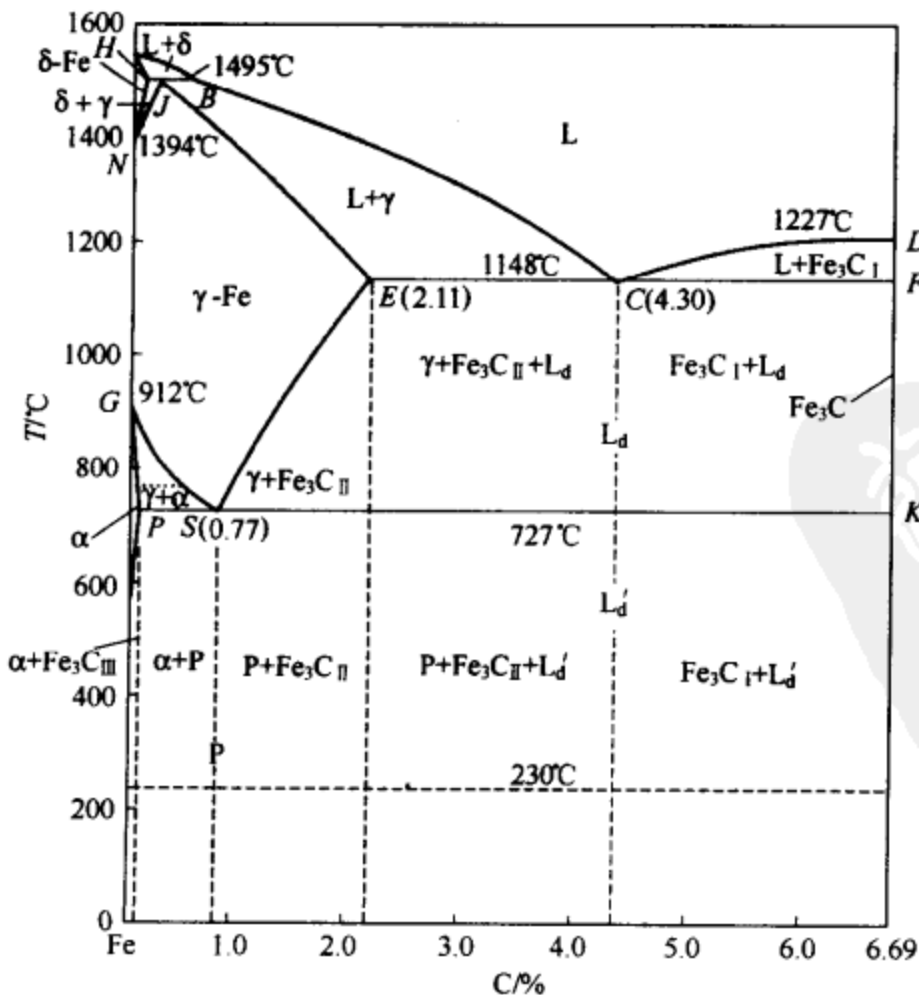
合肥工业大学 2006 年硕士研究生入学考试参考答案

一、名词解释 (24 分, 每个 4 分)

1. 间隙固溶体: 是溶质原子溶入溶剂晶格间隙所形成的固溶体, 一般在原子尺寸因素 $\Delta r > 41\%$ 后形成, 它使晶格产生正畸变, 它只能是有限固溶体。
2. 非均匀形核: 是液相金属原子依附在某些现存固相物质表面, 择优形成固相核心的过程。它需要的形核功和过冷度比均匀形核小。
3. 珠光体: 是铁素体与渗碳体的机械混合物, 具有较高的强度和硬度, 综合机械性能较好。
4. 离异共晶: 是成分靠近共晶线两端的合金, 由于凝固时初生相很多, 剩余液相很少, 在共晶转变时共晶体中与初生相相同的一相依附在初生相上生长, 而把另一相推到最后凝固的界面处或枝间, 使共晶体失去了典型共晶组织的形态, 这种组织称为离异共晶。
5. 扩展位错: 由一个全位错分解成两个肖克莱不全位错, 在它们之间夹着一个层错带的位错组态, 其层错带的宽度与层错能的大小成反比。
6. 枝晶偏析: 合金不平衡凝固时, 先凝固的枝干和后凝固的枝间成分不均匀的现象, 可用均匀化退火的方法消除枝晶偏析。

二、填空 (36 分, 每空 1 分)

1. $2; \frac{\sqrt{3}}{4}a; 8; 0.68; \text{小}; \langle 111 \rangle; \{110\}$
2. 短程; 长程; 能量; 结构; 过冷; 体积自由能; 表面能; $\frac{1}{3}A^*\sigma$; 高; 细小
3. $<10^\circ$; 倾侧晶界; 扭转晶界; 刃型; 螺型; 小
4. 原子尺寸因素; 负电性因素; 电子浓度因素; 晶体结构因素; 温度



5. 化学位梯度; 化学位降低; 空位机制; 间隙机制; 空位换位; 晶格间隙; 大; 小

三、判断题 (15 分, 每题 1 分)

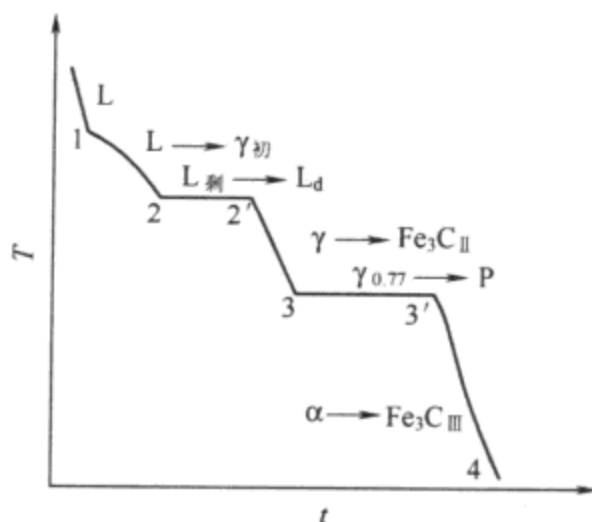
1. \checkmark 2. \times 3. \times 4. \checkmark 5. \checkmark
6. \times 7. \times 8. \times 9. \checkmark 10. \checkmark
11. \checkmark 12. \times 13. \checkmark 14. \checkmark 15. \times

四、相图题 (25 分)

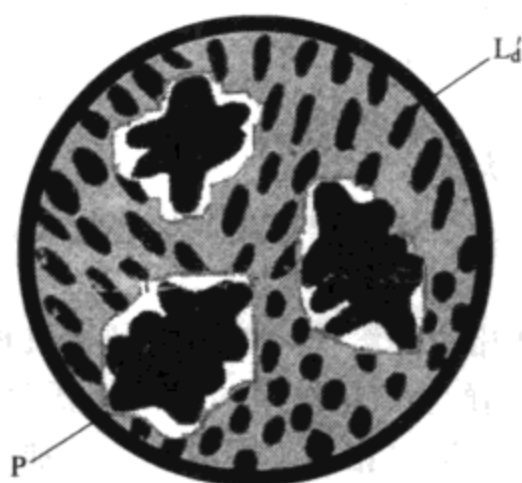
1. (7 分) 答: 见左图。

2. (10 分) 答: 含碳 3.5% 的铁碳合金在 1 点以上为液相, 冷到 1 点时开始发生匀晶转变 $L \rightarrow \gamma_{初}$, 在 1~2 点之间随温度的降低, $L\%$ 下降, $\gamma_{初}\%$ 上升, 它们的成分分别沿液、固相线变化, 到 2 点时 $\gamma_{初}$ 的成分为 $C\% = 2.11\%$, 剩余液相当成分达到 $C\% = 4.3\%$ 发生共晶转变 $L_{剩} \xrightarrow{1148^\circ\text{C}} L_d (\gamma_{共} +$

Fe₃C), 在 2 点以下液相消失, 合金的组织为 $\gamma_{初} + L_d$ 。在 2~3 点之间随温度的降低, γ 相的成分沿 ES 线变, $\gamma_{初} \xrightarrow{\text{析出}} Fe_3C_{II}$, $\gamma_{共} \rightarrow Fe_3C_{II}$, 到 3 点时, $\gamma_{初}$ 和 $\gamma_{共}$ 的成分为 $C\% = 0.77\%$, 发生共析转变, $\gamma_{初} \rightarrow P(\alpha + Fe_3C)$, $\gamma_{共} \rightarrow P(\alpha + Fe_3C)$, 这时合金的组织为 $P + Fe_3C_{II} + L'_d(P + Fe_3C_{II} + Fe_3C)$, 在 3~4 点之间 P 中的 $\alpha \xrightarrow{\text{析出}} Fe_3C_{III}$, 但是很少可忽略不计, 所以室温时该合金的组织为 $P + Fe_3C_{II} + L'_d$ 。它的冷却曲线为:



显微组织示意图为:



3. (8 分) 答: (1) 组织组成物:

$$\gamma_{初}\% = \frac{4.3 - 3.5}{4.3 - 2.11} \times 100\% = 36.53\%;$$

$$L_d\% = 100\% - 36.53\% = 63.47\% = L'_d\%;$$

$$Fe_3C_{II}\% = 22.6\% \times 36.53\% = 8.26\%;$$

$$P\% = 36.53\% - 8.26\% = 28.27\%.$$

(2) 相组成物:

$$\alpha\% = \frac{6.69 - 3.5}{6.69 - 0} \times 100\% = 47.68\%;$$

$$Fe_3C = 100\% - 47.68\% = 52.32\%.$$

五、(10 分)

答: (1) 静态回复由于加热温度较低或保温时间较短, 可使冷变形后产生加工硬化的金属材料的点缺陷密度大大降低, 电阻率有所下降, 第一类内应力大部分得到消除, 但基本上保留了冷变形所产生的加工硬化效果, 所以在实际生产中对要保留冷变形硬化效果的金属材料, 常采用回复处理。

(2) 静态再结晶由于加热温度较高或保温时间较长, 可使冷变形后产生加工硬化的金属材料通过形核和长大重新软化, 即组织和性能基本上恢复到冷变形前的状态, 所以在实际生产中, 对进行大量冷变形的金属材料, 可用再结晶退火作为中间工艺, 以便保证能继续进行冷变形加工。另外也可通过再结晶退火进行细化晶粒。

六、(12 分) 答: 如果原子层的正常堆垛出现差错, 即形成堆垛层错。它可通过原子层的滑移、抽出和插入形成。而堆垛层错终止在晶体内部, 就会产生层错与完整晶体的交界线, 该交界线即为不全位错的位错线。因此可以认为不全位错是堆垛层错的边缘。

在面心立方结构中常出现的不全位错有肖克莱不全位错, 一般由滑移型层错构成, 其柏氏矢量为 $\frac{a}{b}\langle 112 \rangle$, 它的特点是可以是刃型、螺型和混合型肖克莱不全位错, 因为它的柏氏矢量与层错面共面, 并且其滑动面是晶体的滑移面, 所以它可以进行滑移运动, 但刃型肖克莱不全位错不能攀移, 螺型肖克莱不全位错不能交滑移运动。

另外在面心立方结构中还常出现弗兰克不全位错, 一般由抽出或插入型层错构成。其柏氏矢量为 $\frac{a}{3}\langle 111 \rangle$, 由于其柏氏矢量与层错面垂直, 所以它只能是刃型不全位错。但其滑动面不是晶体的滑移面, 它不能进行滑移运动, 只能进行攀移运动, 属于固定位错。

七、(16 分)

答: (1) 纯金属单晶体产生加工硬化的机理主要是: ①位错源开动, 位错增殖使位错密度增大; ②位错运动受到点阵阻力, 位错之间发生交互作用, 形成割阶、缠结, 使其运动阻力增大; ③位错之间发生位错反应, 形成固定位错 (如洛玛位错、L-C 位错等), 造成位错塞积, 使位错运动阻力进一步增大。

(2) 对纯金属多晶体, 其加工硬化机理比单晶体多出了晶界造成的位错塞积作用, 其位错运动阻力进一步增大。

(3) 对于两相合金, 若基体相为固溶体, 其加工硬化机理比纯金属多晶体又多出了固溶强化作用, 即溶质原子与位错的弹性交互作用, 形成柯氏气团和化学交互作用形成铃木气团, 使位错运动阻力进一步增大。第二相为硬颗粒相, 其加工硬化机理又比固溶体合金多出来分散强化机制, 即位错将环绕分散机制 (奥罗万机制) 和位错切割第二相机制, 使位错运动阻力更进一步增大。

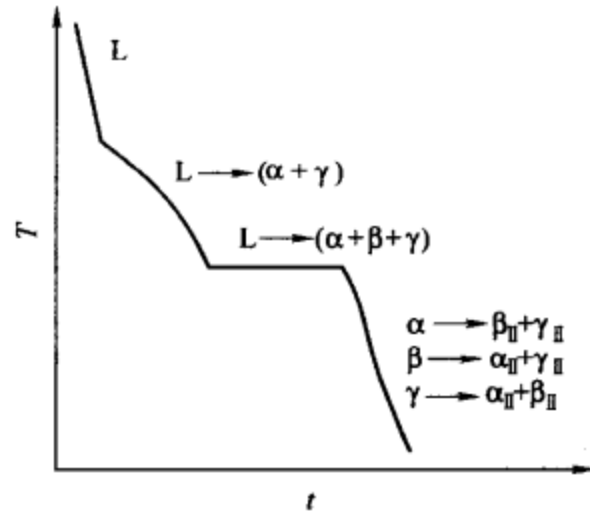
八、任选题 (12 分)

1. 答: 成分过冷是固溶体合金在不平衡凝固时, 由于液-固界面前沿产生溶质富集区, 富集区处合金液相的成分不同, 具有不同的凝固温度, 在一定的温度梯度时, 靠近液-固界面处合金凝固温度低, 过冷度较小, 在液-固界面稍远处合金的凝固温度较高, 过冷度较大, 这种由于液-固界面前沿合金成分随距离改变而造成的过冷度称为成分过冷。

成分过冷区的形成在液-固界面前沿产生了类似负温度梯度的区域, 使液-固界面变得不稳定。当成分过冷区窄时, 液-固界面的不稳定程度较小, 界面上偶然突出部分只能稍微超前生长, 使固溶体的生长形态为不规则胞状、伸长胞状或规则胞状; 当成分过冷区较宽时, 液-固界面的不稳定程度较大, 界面上偶然突出部分能较快超前生长, 使固溶体的生长形态为胞状树枝状或树枝状。所以成分过冷是造成固溶体合金在不平衡凝固时按胞状或树枝状生长的主要原因。

2. 答: K 合金从液态冷却到与共晶沟线 E_3E 相交时, 开始发生三相平衡共晶转变 $L \rightarrow \alpha + \gamma$, 随温度的降低, 液相成分沿其单变量线 E_3E 变, 相对量不断减少, α 、 γ 相成分分别沿其单变量线 Lm 和 Kp 变, 相对量不断增加。当冷却到 T_E 温度时, 剩余液相发生相平衡

共晶转变， $L \rightarrow \alpha + \beta + \gamma$ ，在 T_E 温度以下液相消失， α 、 β 、 γ 分别沿其单变量线 mm' ， pp' ， nn' 变，发生双析转变 $\alpha \rightarrow \beta_{II} + \gamma_{II}$ ， $\beta \rightarrow \alpha_{II} + \gamma_{II}$ ， $\gamma \rightarrow \alpha_{II} + \beta_{II}$ ，故到室温时，K 合金的组织为： $(\alpha + \gamma) + (\alpha + \beta + \gamma) + (\alpha_{II} + \beta_{II} + \gamma_{II})$ ，它的冷却曲线如下图。



江苏大学 2004 年硕士研究生入学考试参考答案

一、名词解释 (24 分)

1. 扩展位错：两个不全位错和中间的层错带所组成的位错组态称为扩展位错。
2. 形变织构：在塑性变形中，随着形变程度的增加，各晶粒的滑移方向都要向主变形方向转动，逐渐使多晶体中原来位向互不相同的各晶粒在空间位向上呈现一定程度的一致，形变金属中的这种组织状态称为形变织构。
3. 伪共晶：非共晶成分的共晶组织称为伪共晶。
4. 退火孪晶：某些 FCC 金属，在冷变形并再结晶退火后，在晶粒内形成的具有平直界面的片状孪晶。
5. 单变量线：三元系中，平衡相的成分随温度变化的空间曲线。
6. 反应扩散：伴随有相变过程的扩散叫反应扩散。
7. 间隙相：两组元间的电负性相差较大，且 $r_B/r_A \leq 0.59$ ，具有简单的晶体结构的中间相。
8. 交滑移：晶体中两个或多个滑移面沿着某个共同的滑移方向同时或交替进行的滑移。

二、填空题 (每题 2 分，共 30 分)

1. 6
2. 外力在滑移面的滑移方向上的分切应力
3. 界面能；金属中的杂质含量
4. 大于零
5. (111) 面
6. 等边三角形
7. 空位扩散
8. 细晶强化
9. 保持不变
10. 滑移和攀移
11. 液相中的溶质完全混合

12. ①各晶粒相互协调变形；②克服晶界的阻碍作用

13. 溶质原子与位错的交互作用

14. ①能量条件，即位错反应后总能量降低；②几何条件，即反应前后各位错的柏氏矢量之和相等

15. ①滑移面向力轴方向转动；②滑移方向向最大切应力方向转动。

三、(每题 7 分，共 21 分)

解： $K = C_S / C_L = 5.65 / 35.2 = 0.16$ $m = (660.37 - 548) / 35.2 = 3.2$

1. $C_S = C_0 K \left(1 - \frac{x}{L}\right)^{K-1} = 1 \times 0.16 (1 - 0.5)^{0.16-1} = 0.286\% \text{Cu}$

2. 由区域熔化方程得 $C_S = C_0 [1 - (1 - K) \exp(-Kx/L)] = 1 \times [1 - (1 - 0.16) \exp(-0.16 \times 5 / 0.5)] = 0.83\% \text{Cu}$

3. 此时可看成是发生成分过冷的临界情况，即 $G/R = mC_0 / D \times (1 - K) / K$

$\therefore C_0 = \frac{GD}{Rm} \times \frac{K}{1 - K} = \frac{30 \times 3 \times 10^{-5}}{3 \times 10^{-4} \times 3.2} \times \frac{0.16}{1 - 0.16} = 0.18\% \text{Cu}$

四、(每题 5 分，共 15 分)

答：1. 设该合金碳浓度为 x ，则根据题意 $\frac{0.77 - x}{0.77} = 50\%$ $x = 0.385\%$

2. 合金为 $\alpha + \gamma$ 两相组织（铁素体 + 奥氏体）。

3. 合金为全部奥氏体组织。

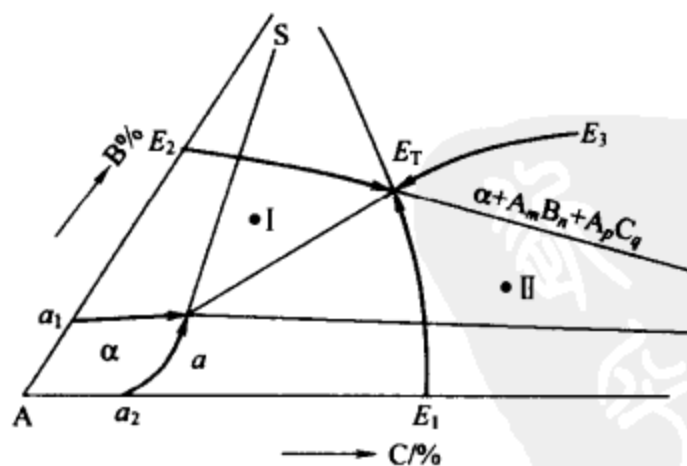
五、(第 1 题 9 分，第 2, 3 题各 6 分，共 21 分)

答：1. $E_1 E_T$ 存在的反应是 $L \longrightarrow \alpha + A_p C_q$ ； $E_2 E_T$ 存在的反应是 $L \longrightarrow \alpha + A_m B_n$ ； $E_3 E_T$ 存在的反应是 $L \longrightarrow A_m B_n + A_p C_q$ 。

2. I 成分合金平衡凝固后存在的相为 α 、 $A_m B_n$ 、 $A_p C_q$ ；组织为： $\alpha + (\alpha + A_m B_n) + (\alpha + A_m B_n + A_p C_q)$ 。

II 成分合金平衡凝固后存在的相为 α 、 $A_m B_n$ 、 $A_p C_q$ ；组织为： $A_p C_q + (\alpha + A_p C_q) + (\alpha + A_m B_n + A_p C_q)$ 。

3. $(\alpha + A_m B_n + A_p C_q)$ 三元共晶的成分相当于 E_T 点， α 初晶的成分相当于 a 点，由等量的 α 初晶和 $(\alpha + A_m B_n + A_p C_q)$ 三元共晶所组成的合金必位于 $E_T a$ 连接的中点 C_0 ，如下图。



六、(15 分) 公式表明：扩散系数 D 与两个晶面的垂直距离 a 、溶质原子从一个晶面跳向另一个晶面的概率 P 、原子跳动频率 Γ 成正比。

对间隙扩散： $D = D_{0e} - \Delta E / KT$ ，其中， ΔE 为溶质原子发生跳动时所需的额外内能。

对置换扩散： $D = D_{0e} - (\Delta E + \Delta E_v) / KT$ ，其中， ΔE 为原子跳动激活能， ΔE_v 空位形

成能。

七、(14 分) 答: Sn 的再结晶温度很低, 当子弹打入 Sn 板后, 变形的同时发生了回复与再结晶。

变形规律为: 弹孔周围变形最大, 远离弹孔时变形逐渐减小, 以致消失。

再结晶后晶粒长大规律: 当变形量很小时, 晶粒尺寸与原始晶粒相同, 变形达到某一定量时, 再结晶晶粒特别粗大, 然后, 再结晶晶粒尺寸随变形量的增大而减小。

江苏大学 2005 年硕士研究生入学考试参考答案

一、比较下列名词 (每题 4 分, 共 24 分)

1. 间隙相: 两组元间的电负性相差较大, 且 $r_B/r_A \leq 0.59$, 具有简单的晶体结构的中间相。

间隙化合物: $r_B/r_A \geq 0.59$, 所形成的化合物具有复杂的晶体结构。

2. 不平衡共晶: 成分接近最大固溶点的合金, 在不平衡凝固时, 不但冷到平衡固溶线上不能结束凝固, 甚至冷到共晶温度以下也会有少量液相残留下来, 有些液相将发生共晶转变, 形成不平衡共晶 (以离异共晶的形式出现)。

离异共晶: 在先共晶相数量较多而共晶组织很少的情况下, 有时共晶组织中与先共晶相同的那一相, 会依附于先共晶相上生长, 剩下的另一相则单独存在于晶界处, 从而使共晶的组织特征消失, 这种两相分离的共晶称为离异共晶。

3. 连接线: 连接对应成分点的直线为连接线。

单变量线: 平衡相的成分随温度变化的空间曲线为单变量线。

4. 复滑移: 两个或两个以上的不同滑移系 (面和方向均不同), 同时或交替进行的滑移。其滑移线形貌为交叉形。

交滑移: 两个或两个以上的滑移面不同而滑移方向均相同的滑移系同时或交替进行的滑移。其滑移线形貌为波纹状。

5. 动态过冷度: 晶体生长时, 保证凝固速度大于熔化速度的过冷度为动态过冷度。

临界过冷度: 形成临界晶核时所必需的过冷度为临界过冷度。

6. 柯氏气团与铃木气团: 溶质原子倾向于聚集到位错周围, 形成比较稳定的分布。溶质原子聚集构成的原子团为柯氏气团。溶质原子在扩展位错的层错区聚集, 形成的气团为铃木气团。

二、填空题 (每题 2 分, 共 30 分)

1. 滑移; 孪生和扭折
2. 由低浓度向高浓度方向的扩散; 化学势的改变
3. 面心立方; 晶胞内的一个八面体间隙
4. 形变方式; 形变程度
5. 较小冷塑性变形
6. $\pi/4$ ($x=y$)
7. $\sigma_s \propto 1/L$
8. 过冷度
9. 奥氏体中的碳浓度远大于铁素体中的碳浓度
10. 高温下
11. 较容易

12. 线缺陷
13. 有害；导致塑性、韧性降低，冷脆倾向增大
14. 包共晶转变
15. 偏析；分散缩孔（疏松）

三、（要点）（15分）答：铝的临界变形度为2%左右，退火后的薄板，经2%变形量的冷轧后再进行退火，会导致退火后晶粒异常长大，使材料性能恶化。

四、（要点）（20分）答：热力学条件：必须过冷。动力学条件：必须有动态过冷度。能量条件：能量起伏。结构条件：结构起伏（相起伏）。

五、（16分）设： $C\gamma = A \exp(-Q/RT)$ 两边取对数 $\ln C\gamma = \ln A - \frac{Q}{RT}$

根据 Fe-C 相图知： $\ln 0.77 = \ln A - \frac{Q}{R \times 1000}$ $\ln 2.11 = \ln A - \frac{Q}{R \times 1421}$

$\therefore Q = 28 \text{ (kJ)}$, $A = 22.3$ 即 $C\gamma = 22.3 \exp(-2.8 \times 10^3/RT)$

六、（15分）解： $X \approx \sqrt{Dt}$ ，当 $X_1 = X_2$ ，则有：

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{D_1}{D_2} = \frac{A \exp\left(-\frac{Q}{RT_1}\right)}{A \exp\left(-\frac{Q}{RT_2}\right)} = \exp\left[\frac{Q}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right] = \exp\left[\frac{140000}{8.31} \left(\frac{1}{1273} - \frac{1}{1173}\right)\right] = 3.2$$

即 $t_2 = 3.2t_1$

所以在 900℃ 渗碳要得到 1000℃ 渗碳的相同结果，时间需要增加到 3 倍以上。

七、（要点）（10分）答：总体影响为 $d \geq 0.3 \mu\text{m}$, $\lambda \geq 1 \mu\text{m}$ 时，促进再结晶； $d \leq 0.3 \mu\text{m}$, $\lambda \leq 1 \mu\text{m}$ 时，阻碍再结晶。

因为当 d 、 λ 较大时，使位错在粒子附近塞积，增加了加工硬化速度，使变形功增加，所以储存能增加，再结晶的驱动力大。此外，位错塞积多，引起局部弯曲，多边化后，使形核率增加。

当 d 、 λ 很小时，这种弥散粒子阻碍了加热时位错的重新排列来构成小角度晶界，也阻碍了小角度晶界扩展为大角度晶界，同时也阻碍了大角度晶界的迁移，抑制了形核长大。

八、（要点）（20分，每题10分）

答：（1）Cu-30%Zn 合金的凝固温度范围窄，不宜形成宽的成分过冷区，即以“壳状”方式凝固，液体的流动性好，易补缩，容易获得致密的铸件，铸件的组织主要为平行排列的柱状晶。

Cu-10%Sn 具有宽的凝固温度范围，宜形成宽的成分过冷区，即以“糊状”方式凝固，液体的流动性差，不易补缩，是铸件产生分散缩孔的主要原因，铸件的致密性差，铸件的组织主要由树枝状柱状晶和中心等轴晶组成。

（2）Cu-2%Sn 合金为单相 α 组织，塑性好，易于进行压力加工；Cu-15%Sn 合金的铸态组织中含有硬、脆的 β 、 δ 等中间相组织，不易塑性变形，适宜于用铸造法来制造耐磨零件。

江苏大学 2006 年硕士研究生入学考试参考答案

一、比较下列名词（每题4分，共24分）

1. 再结晶：指经冷变形的金属在足够高的温度下加热时，通过新晶核的形成及长大，

以无畸变的新晶粒逐渐取代变形晶粒的过程。

二次再结晶：再结晶后晶粒会进一步长大，造成异常晶粒长大，使力学性能相应变坏。

2. 上坡扩散：低浓度向高浓度的扩散。

反应扩散：扩散过程中，伴有析出化合物或有相变过程的扩散。

3. 致密度：定量地描述晶体中原子排列的紧密程度。

配位数：定性地描述晶体中原子排列的紧密程度。

4. 热脆和冷脆：钢中的 S、P 元素都是夹杂物。钢中的硫以化合物 FeS 存在，而 FeS 与 Fe 则形成熔点为 985°C 的低熔点离异共晶体，所以钢进行热加工时，由于加热温度超过其熔点而使这些处于晶界的低熔点共晶体熔化，导致钢材开裂，即为热脆。冷脆是 P 在钢中部分形成脆性很大的化合物 Fe_3P ，使钢在低温下的塑性和韧性急剧下降。

5. 平衡分配系数：某一温度下固相与液相两平衡成分的比值。

有效分配系数： $k_e = \frac{\text{结晶过程中固体在相界处的浓度}}{\text{此时剩余液体的平均浓度}}$ 。

6. 交滑移：晶体中两个或多个滑移面沿着某个共同的滑移方向同时或交替进行的滑移。

双交滑移：如果交滑移后的位错再转回和原滑移面平行的滑移面上继续运动，则为双交滑移。

二、(12 分) 解：单位长度位错受力为：

$$F = \tau b = 10^{-4} G \times 2.55 \times 10^{-10} = 2.55 \times 10^{-14} \text{GN/m}$$

曲率半径为 R 的位错因线张力而施加于单位长度位错线的力 $F \approx Gb^2/2R$ ，当此力和外加应力场对位错的力相等所对应的 R 就是此位错环在晶体中能扩张的半径，所以

$$Gb^2/2R = 2.55 \times 10^{-14} \text{GN/m} \quad \text{即 } R = 1.275 \times 10^{-6} \text{m}$$

三、(12 分) 解：第Ⅲ阶段是动态回复阶段，主要机制之一是在塞积群中的螺位错交滑移，塞积群前的应力集中得以释放，故使硬化率下降。因此越容易交滑移的材料第Ⅲ阶段开始越早。铝的层错能高，位错一般不能扩展，所以它的螺位错容易交滑移；而不锈钢层错能很低，位错通常都会扩展，所以不容易交滑移。所以铝在受力变形时会更早进入第Ⅲ阶段。

四、(12 分) 解：铝板轧制后，沿着板的长度变形量是不同的，20mm 一侧变形量最大，40mm 一侧变形量为 0。在靠近 40mm 一侧临界变形量的地方经过再结晶退火后获得最大的晶粒，在小于临界变形量的地方，晶粒尺寸和原始晶粒一样；在大于临界变形量的一侧，晶粒尺寸随变形量的增大而逐渐减小。

五、(10 分) 解：因为 A、B、C 和化合物 D 都有极小的溶解度，根据投影图判断：在 A-B 二元系有 $L \rightarrow A + D$ 和 $L \rightarrow B + D$ ；在 A-C 二元系有 $L \rightarrow A + C$ ；在 B-C 二元系有 $L \rightarrow B + C$ 。此外还有 $L \rightarrow D + C$ 。即有 5 个三相反应。在 M 点是 $L + A \rightarrow D + C$ 四相反应；在 N 点是 $L \rightarrow B + D + C$ 四相反应。

六、(要点) (12 分) 答：变形孪晶是金属通过孪生的方式进行塑性变形后形成的组织。孪生是一个发生在晶体内部的均匀切变过程，切变区的宽度较小，在金相显微镜下一般呈带状（有时为透镜状），且变形孪晶通常在一个晶粒内部。

退火孪晶是经冷塑性变形并再结晶退火后形成的组织。这种退火孪晶的形成，需要产生堆垛层错。这种层错是在晶界迁移过程中形成的。在金相显微镜下一般为平直界面的片状孪晶。

七、(要点) (10 分) 答：相同点：抗力都随第二相质点总体积分数的增加而增大。不同点：质点大小所起的作用正好相反。位错绕过质点为质点半径越小（ $\because r$ 越小，分散度就越大，数量越多，间距 λ 就越小），产生的阻力越大；位错切过质点为质点半径越大，产生

的阻力越大。

八、(要点) (12 分) 答：三晶区是：表层细晶区、柱状晶区和中心等轴晶区。

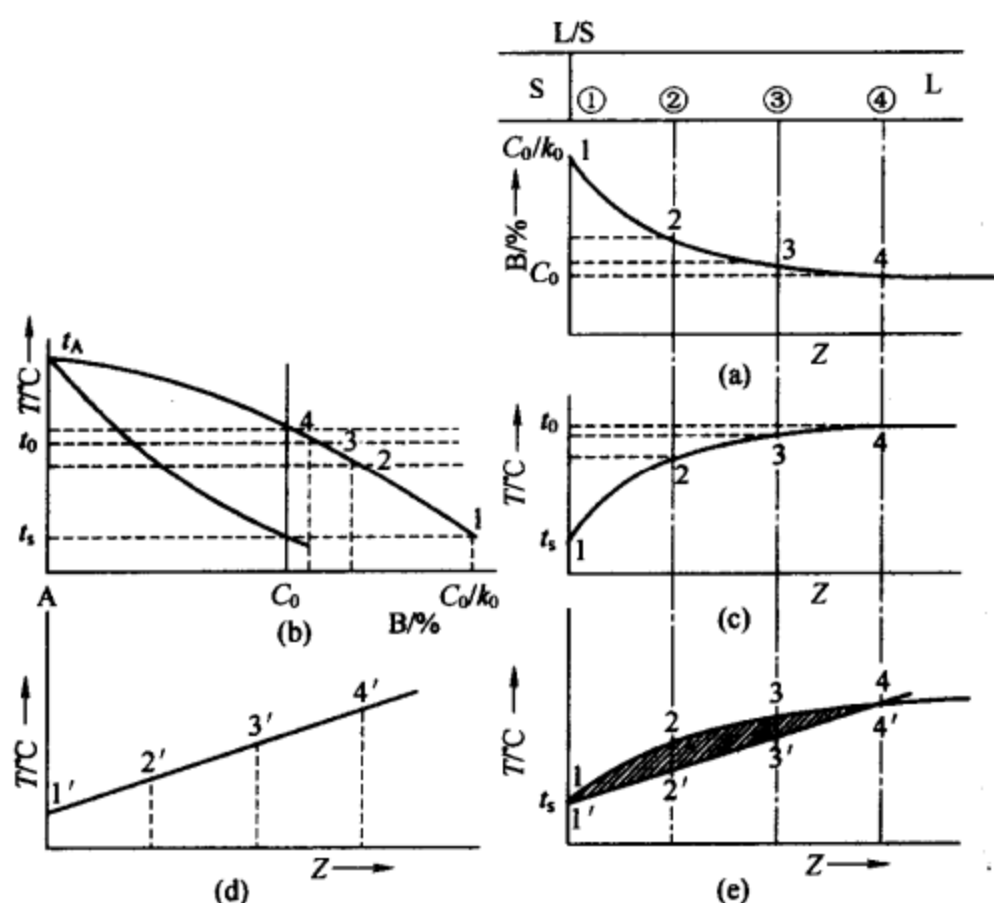
细晶区的形成：主要是液体金属浇入锭模后，冷模壁的作用而产生强烈的过冷，且模壁促进非均匀形核。

柱状晶区形成：在细晶区的形成过程中，因为模壁温度不断升高，使得细晶区前沿液体的过冷度减小，形核变得困难或者说基本上不形核了，此时就在细晶的基础上逐渐长大。由于热量的散发垂直于模壁，因此晶体的生长也就沿着与散热相反方向作定向凝固形成柱状晶。

中心等轴晶区的形成：主要是由于铸锭中心的液体存在着大量的籽晶，这些籽晶在成分过冷的作用下，形成核心而长大，形成中心等轴晶。

九、(要点) (12 分) 答：含 50%~60%Ni 的合金硬度最高，而硬度最高的合金其流动性不好，因为结晶间隔最大。含镍 50%，铸后自然冷却，铸件的偏析较为严重。因为它的成分间隔大，会造成较大的枝晶偏析。

十、(20 分)



当溶质仅依靠扩散而混合时，图(a) 液体溶质分布曲线可表示

$$C_L = C_0 \left(1 + \frac{1-k_0}{k_0} \times e \times \frac{-RZ}{D} \right) \quad (1)$$

若设 k_0 为常数，液相线斜率也是常数

$$\therefore m = \frac{T_A - T_L}{C_L}$$

$$\therefore T_L = T_A - mC_L \quad (2)$$

将式(1) 代入式(2) 得

$$T_L = T_A - mC_0 \left(1 + \frac{1-k_0}{k_0} \times e \times \frac{-RZ}{D} \right) \quad (3)$$

这就是图(c) 的数学表达式，现确定图(d) 表达式：

设界面温度为 T_i ，界面开始的温度梯度为 G ，则距离界面 Z 处的液体实际 T 为：

$$T = T_i + GZ$$

∵ 动态过冷度很小，∴ 可近似认为界面的实际温度与平衡温度相等，即 $T_i = (T_L)_{Z=0}$
在 $Z=0$ 的条件下，从式(3) 可导出

$$T_i = (T_L)_{Z=0} = T_A - \frac{mC_0}{k_0}$$

$$T = T_A - \frac{mC_0}{k_0} + GZ \quad (4)$$

显然，只有在 $T < T_L$ ，才会获得成分过冷。

所以 $T = T_L$ 是出现成分过冷的临界条件。结合式(3)、式(4) 得出其临界条件的表达式为：

$$\frac{G}{R} = \frac{mC_0}{D} \times \frac{1-k_0}{k_0}$$

随着成分过冷的增大，金属凝固时晶体生长由平面状向胞状再向树枝状方向发展。

十一、(14 分) 解： $Fe_3C_I = \frac{5-4.3}{6.69-4.3} = 29\%$ $L_d = 1 - 0.29 = 71\%$

$$Fe_3C_{共晶} = \frac{4.3-2.11}{6.69-2.11} \times 71\% = 34\%$$

$$\gamma = 71\% - 34\% = 37\%$$

$$Fe_3C_{II} = 37\% \times 22.6 = 8.37\% \quad P = 37\% - 8.37\% = 28.63\%$$

$$Fe_3C_{共析} = 28.63\% \times 12\% = 3.4\%$$

$$F = 28.63\% - 3.4\% = 25.23\% \quad Fe_3C_{III} = 25.23\% \times 0.33 = 0.08\%$$



附 录

1. 元素的电子结构

原子序数	元 素	符号	电 子 数																	
			1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	5f	6s	6p	6d	6f
1	氢(Hydrogen)	H	1																	
2	氦(Helium)	He	2																	
3	锂(Lithium)	Li	2	1																
4	铍(Beryllium)	Be	2	2																
5	硼(Boron)	B	2	2	1															
6	碳(Carbon)	C	2	2	2															
7	氮(Nitrogen)	N	2	2	3															
8	氧(Oxygen)	O	2	2	4															
9	氟(Fluorine)	F	2	2	5															
10	氖(Neon)	Ne	2	2	6															
11	钠(Sodium)	Na	2	2	6	1														
12	镁(Magnesium)	Mg	2	2	6	2														
13	铝(Aluminum)	Al	2	2	6	2	1													
14	硅(Silicon)	Si	2	2	6	2	2													
15	磷(Phosphorus)	P	2	2	6	2	3													
16	硫(Sulfur)	S	2	2	6	2	4													
17	氯(Chlorine)	Cl	2	2	6	2	5													
18	氩(Argon)	Ar	2	2	6	2	6													
19	钾(Potassium)	K	2	2	6	2	6	1												
20	钙(Calcium)	Ca	2	2	6	2	6	2												
21	钪(Scandium)	Sc	2	2	6	2	6	1	2											
22	钛(Titanium)	Ti	2	2	6	2	6	2	2											
23	钒(Vanadium)	V	2	2	6	2	6	3	2											
24	铬(Chromium)	Cr	2	2	6	2	6	4	1											
25	锰(Manganese)	Mn	2	2	6	2	6	5	2											
26	铁(Iron)	Fe	2	2	6	2	6	6	2											
27	钴(Cobalt)	Co	2	2	6	2	6	7	2											
28	镍(Nickel)	Ni	2	2	6	2	6	8	2											

原子序数	元 素	符号	电 子 数																	
			1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	5f	6s	6p	6d	6f
29	铜(Copper)	Cu	2	2	6	2	6	10	1											
30	锌(Zinc)	Zn	2	2	6	2	6	10	2											
31	镓(Gallium)	Ga	2	2	6	2	6	10	2	1										
32	锗(Germanium)	Ge	2	2	6	2	6	10	2	2										
33	砷(Arsenic)	As	2	2	6	2	6	10	2	3										
34	硒(Selenium)	Se	2	2	6	2	6	10	2	4										
35	溴(Bromine)	Br	2	2	6	2	6	10	2	5										
36	氪(Krypton)	Kr	2	2	6	2	6	10	2	6										
37	铷(Rubidium)	Rb	2	2	6	2	6	10	2	6		1								
38	锶(Strontium)	Sr	2	2	6	2	6	10	2	6		2								
39	钇(Yttrium)	Y	2	2	6	2	6	10	2	6	1	2								
40	锆(Zirconium)	Zr	2	2	6	2	6	10	2	6	2	2								
41	铌(Niobium)	Nb	2	2	6	2	6	10	2	6	4	1								
42	钼(Molybdenum)	Mo	2	2	6	2	6	10	2	6	5	1								
43	锝(Technetium)	Tc	2	2	6	2	6	10	2	6	5	2								
44	钌(Ruthenium)	Ru	2	2	6	2	6	10	2	6	7	1								
45	铑(Rhodium)	Rh	2	2	6	2	6	10	2	6	8	1								
46	钯(Palladium)	Pd	2	2	6	2	6	10	2	6	10	0								
47	银(Silver)	Ag	2	2	6	2	6	10	2	6	10	1								
48	镉(Cadmium)	Cd	2	2	6	2	6	10	2	6	10	2								
49	铟(Indium)	In	2	2	6	2	6	10	2	6	10	2	1							
50	锡(Tin)	Sn	2	2	6	2	6	10	2	6	10	2	2							
51	锑(Antimony)	Sb	2	2	6	2	6	10	2	6	10	2	3							
52	碲(Tellurium)	Te	2	2	6	2	6	10	2	6	10	2	4							
53	碘(Iodine)	I	2	2	6	2	6	10	2	6	10	2	5							
54	氙(Xenon)	Xe	2	2	6	2	6	10	2	6	10	2	6							
55	铯(Cesium)	Cs	2	2	6	2	6	10	2	6	10	2	6			1				
56	钡(Barium)	Ba	2	2	6	2	6	10	2	6	10	2	6			2				
57	镧(Lanthanum)	La	2	2	6	2	6	10	2	6	10	2	6	1		2				
58	铈(Cerium)	Ce	2	2	6	2	6	10	2	6	10	2	6			2				
59	镨(Praseodymium)	Pr	2	2	6	2	6	10	2	6	10	3	2	6		2				

续表

原子 序数	元 素	符号	电 子 数																	
			1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	5f	6s	6p	6d	6f
60	铈(Neodymium)	Nd	2	2	6	2	6	10	2	6	10	4	2	6		2				
61	铈(Promethium)	Pm	2	2	6	2	6	10	2	6	10	5	2	6		2				
62	钐(Samarium)	Sm	2	2	6	2	6	10	2	6	10	6	2	6		2				
63	铕(Europium)	Eu	2	2	6	2	6	10	2	6	10	7	2	6		2				
64	钆(Gadolinium)	Gd	2	2	6	2	6	10	2	6	10	7	2	6	1	2				
65	铽(Terbium)	Tb	2	2	6	2	6	10	2	6	10	9	2	6		2				
66	镝(Dysprosium)	Dy	2	2	6	2	6	10	2	6	10	10	2	6		2				
67	铈(Holmium)	Ho	2	2	6	2	6	10	2	6	10	11	2	6		2				
68	铒(Erbium)	Er	2	2	6	2	6	10	2	6	10	12	2	6		2				
69	铥(Thulium)	Tm	2	2	6	2	6	10	2	6	10	13	2	6		2				
70	镱(Ytterbium)	Yb	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6		2				
71	镱(Lutetium)	Lu	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	1	2				
72	铪(Hafnium)	Hf	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	2	2				
73	钽(Tantalum)	Ta	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	3	2				
74	钨(Wolfram)	W	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	4	2				
75	铼(Rhenium)	Re	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	5	2				
76	锇(Osmium)	Os	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	6	2				
77	铱(Iridium)	Ir	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	7	2				
78	铂(Platinum)	Pt	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	9	1				
79	金(Gold)	Au	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	1				
80	汞(Mercury)	Hg	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2				
81	铊(Thallium)	Tl	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2	1			
82	铅(Lead)	Pb	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2	2			
83	铋(Bismuth)	Bi	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2	3			
84	钋(Polonium)	Po	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2	4			
85	砷(Astatine)	At	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2	5			
86	氡(Radon)	Rn	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2	6			
87	钫(Francium)	Fr	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2	6			1
88	镭(Radium)	Ra	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2	6			2
89	锕(Actinium)	Ac	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2	6	1		2
90	钍(Thorium)	Th	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2	6	2		2

原子序数	元 素	符号	电 子 数																		
			1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	5f	6s	6p	6d	6f	7s
91	镤(Protactinium)	Pa	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2	2	6	1		2
92	铀(Uranium)	U	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	3	2	6	1		2
93	镎(Neptunium)	Np	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	4	2	6	1		2
94	钚(Plutonium)	Pu	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	6	2	6			2
95	镅(Americium)	Am	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	7	2	6			2
96	锔(Curium)	Cm	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	7	2	6	1		2
97	锫(Berkelium)	Bk	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	9	2	6			2
98	锎(Californium)	Cf	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	10	2	6			2
99	锿(Einsteinium)	Es	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	11	2	6			2
100	镱(Fermium)	Fm	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	12	2	6			2
101	钔(Mendelevium)	Md	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	13	2	6			2
102	镎(Nobelium)	No	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	14	2	6			2
103	鐳(Lawrencium)	Lw	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	14	2	6	1		2

2. 元素的晶体结构

元素符号	元素名称	晶 格 类 型	单位晶胞中的原子数目	配位数	晶格常数/Å			原子间距(最近的)/Å	原子半径/Å
					a	b	c		
Ag	银	面心立方	4	12	4.0856	—	—	2.888	1.44
Al	铝	面心立方	4	12	4.0490	—	—	2.862	1.43
As	砷	菱形($\alpha=53^{\circ}49'$)	2	3.3	4.159	—	—	2.51	1.43
Au	金	面心立方	4	12	4.0783	—	5.04	2.884	1.44
B	硼	针状正方	—	—	8.75	—	10.15	1.75	(0.97)
B	硼	片状正斜	—	—	17.90	8.95	—	1.75	(0.97)
Ba	钡	体心立方	2	8	5.025	—	—	4.35	2.24
Be	铍	密排六方	2	6.6	2.2854	—	3.5841	2.225	1.13
Bi	铋	菱方($\alpha=57^{\circ}14'$)	2	3.3	4.7355	—	—	3.111	1.82
C(金刚石)	碳	立方(钻石型)	8	4	3.568	—	—	1.544	(0.77)
α -C	碳	立方	4	6	2.4614	—	6.7014	1.42	(0.77)
β -C	碳	斜方	—	—	2.461	—	10.064	—	(0.77)
Ca(<464℃)	钙	面心立方	4	12	5.582	—	—	3.94	1.97
Ca(>464℃)	钙	体心六方	2	—	4.48(500℃)	—	—	—	—
Cd	镉	密排六方	—	6.6	2.9787	—	5.617	2.979	1.52
Ce(<730℃)	铈	面心立方	—	—	5.1612	—	—	3.65	1.58
ϵ -Co(<400℃)	钴	密排六方	2	—	2.507	—	4.069	2.506	1.25
α (或 γ)-Co(>400℃)	钴	面心立方	4	—	3.552	—	—	2.511	—
Cr	铬	体心六方	2	8	2.885(78K)	—	—	2.498	1.28
Cs	铯	体心六方	—	8	6.067	—	—	5.25	2.70
Cu	铜	面心立方	4	12	3.6153	—	—	2.556	1.28
α -Fe(<910℃)	铁	体心立方	2	—	2.8664	—	—	2.481	1.27

续表

元素符号	元素名称	晶格类型	单位晶胞中的原子数目	配位数	晶格常数/Å			原子间距 (最近的) /Å	原子半径 /Å
					a	b	c		
γ -Fe(910~1390℃)	铁	面心立方	4	—	3.656	—	—	2.585	—
δ -Fe(>1390℃)	铁	体心立方	—	—	2.94(1425℃)	—	—	—	—
In	铟	面心立方	4	4.8	4.594	—	4.951	3.25	1.57
Ir	铱	面心立方	4	—	3.8389	—	—	2.714	1.36
K	钾	体心立方	2	—	5.344	—	—	4.627	2.38
α -La(<330℃)	镧	密排立方	2	6.6	3.770	—	12.159	3.739	1.88
β -La(<330~864℃)	镧	面心立方	4	12	5.31	—	—	—	—
Li	锂	体心立方	2	8	3.5089	—	—	3.039	1.57
Mg	镁	密集六方	2	6.6	3.2092	—	5.2103	3.196	1.60
α -Mn(<727℃)	锰	复杂立方	58	—	8.912	—	—	2.24	1.30
β -Mn(<660℃)	锰	复杂立方	20	—	6.313	—	—	2.373	—
γ -Mn(1095~1130℃)	锰	面心立方	4	—	3.862(1095℃)	—	—	2.731	—
δ -Mn(>1130℃)	锰	体心立方	—	—	3.080(1134℃)	—	—	—	—
Mo	钼	体心立方	—	8	3.1466	—	—	2.725	1.40
Na	钠	体心立方	2	8	4.2906	—	—	3.715	1.92
Nb	铌	体心立方	2	8	3.3007	—	—	2.859	1.47
Ni	镍	面心立方	4	—	3.5238	—	—	2.491	1.25
Os	锇	密集六方	2	—	2.733	—	—	2.675	1.35
P	磷	正斜	8	3.3	3.32	4.39	10.52	2.18	1.3
Pb	铅	面心立方	4	12	4.9495	—	—	3.499	1.75
Pd	钯	面心立方	4	—	3.8902	—	—	2.750	1.37
Pt	铂	面心立方	4	—	3.9237	—	—	2.775	1.39
Rb	铷	体心立方	2	8	5.710	—	—	4.996	2.57
Re	铼	密集六方	2	—	2.7609	—	4.4583	2.740	1.37
α -Rh	铑	立方	48	—	3.8034	—	—	2.689	1.34
Ru	钌	密集六方	2	—	2.7038	—	4.2816	2.649	1.34
α -S(黄)	硫	正斜	128	—	10.44	12.84	24.37	2.04	—
β -S	硫	单斜	—	—	—	—	—	—	—
Sb	锑	斜方($\alpha=57.1^\circ$)	—	—	4.5064	—	—	2.903	1.61
Se	硒	六方	3	2.4	4.3640	—	4.9594	2.32	1.6
Si	硅	立方(钻石型)	8	4	5.4282	—	—	2.351	1.34
α -Sn(<13℃)	灰锡	立方(钻石型)	8	—	6.491	—	—	2.81	1.58
β -Sn(>13℃)	白锡	体心立方	4	4.2	5.8311	—	3.1817	3.022	—
α -Sr(>215℃)	锶	面心立方	—	12	6.085	—	—	4.31	2.15
β -Sr(215~605℃)	锶	密集六方	—	—	4.32	—	7.06	—	—
γ -Sr(>605℃)	锶	体心立方	—	—	4.85	—	—	—	—
Ta	钽	体心立方	2	8	3.3026	—	—	2.860	1.47
Te	碲	六方	3	2.4	4.4559	—	5.9268	2.87	1.7
α -Th(<1400℃)	钍	面心立方	4	12	5.0843	—	—	3.595	1.8
β -Th(>1400℃)	钍	体心立方	—	—	4.12	—	—	—	—
α -Ti(<882.5℃)	钛	密集六方	2	6.6	2.9504	—	4.6833	2.89	1.47
β -Ti(>882.5℃)	钛	体心立方	—	—	3.306	—	—	—	—
α -Tl(<234℃)	铊	密集六方	2	6.6	3.4564	—	5.531	3.407	1.71
β -Tl(>234℃)	铊	体心立方	4	12	3.882	—	—	—	—
α -U(<660℃)	铀	正斜	—	—	2.858	5.877	4.955	2.77	—
β -U(660~775℃)	铀	正方	—	—	10.758	—	5.656	—	—
V	钒	体心立方	2	8	3.039	—	—	2.632	1.36
W	钨	体心立方	2	—	3.1648	—	—	2.739	1.41
Zn	锌	密集六方	—	6.6	2.664	—	4.945	2.664	1.37
α -Zr(<865℃)	锆	密集六方	—	6.6	3.230	—	5.133	3.17	1.60
β -Zr(>865℃)	锆	体心立方	—	8	3.62	—	—	—	—

注: 1Å=0.1nm.

3. 元素的物理性质

元素符号	元素名称	原子序数	密度 γ (20℃) /(g/cm ³)	熔点 /℃	沸点 /℃	比热容 C /[kcal /(kg· K)]	熔化热 /(kcal /kg)	热导率 λ /(cal/cm· s·℃)	线胀系数 $\alpha_t \times 10^6$ (0~100℃) /(1/℃)	电阻率 ρ (0℃) /10 ⁻⁸ Ω·m	电阻温度系数 $\alpha \times 10^3$ (0℃) /(1/℃)	磁化率 x_d (18℃) /(10 ⁻⁶ cm ³ /g)	弹性模量 E /(kg/m ²)
Ac	锕	89	10.07	1051	3200	—	—	—	—	—	4.23	—	—
Ag	银	47	10.49	961.93	2210	0.0559	25	1.0	19.7	1.5	4.29	-0.1813	7000~8200
Al	铝	13	2.6984	660.37	2500	0.215	94.6	0.53	23.6	2.665	4.23	+0.62	6900~7200
Am	镅	95	11.7	996	约 2500	—	—	—	50.8	145	—	—	—
Ar	氩	18	1.784×10 ⁻³	-189.33	-185.7	0.125	6.7	0.406×10 ⁻⁴	—	—	—	-0.45	—
As	砷	33	5.73	814(36atm)	613(升华)	0.082	88.5	—	4.7	35.0	3.9	-0.31	790
Au	金	79	19.32	1064.43	2966	0.0312	16.1	0.71	14.2	2.065	3.5	-0.142	7900~8000
B	硼	5	2.34	2103	3675	0.309	—	—	8.3(40℃)	1.8×10 ¹²	—	-0.63	—
Ba	钡	56	3.5	729	1640	0.068	—	—	19.0	50	—	+0.9	1290
Be	铍	4	1.84	1289	2970	0.45	260	0.35	11.6(20~60℃)	6.6	6.7	-1.00	31500~28980
Bi	铋	83	9.80	271.442	1420	0.0294	12.5	0.020	13.4	106.8	4.2	-1.35	3234
Br	溴	35	3.12(液态)	-7.25	58.4	0.070	16.2	—	—	6.7×107	—	-0.39	—
C	碳	6	3.25(石墨)	3836	4830	0.165	—	0.057	0.6~4.3	1375	0.6~1.2	-0.49	490
Ca	钙	20	1.55	840	1440	0.155	52	0.3	22.3	3.6	3.33	+1.1	2000~2600
Cd	镉	48	8.65	321.108	765	0.055	13.2	0.22	31.0	7.51	4.24	-0.182	5350
Ce	铈	58	6.90	799	3468	0.042	8.5	0.026	8.0	75.3(25℃)	0.87	+17.5	3060
Cl	氯	17	3.214×10 ⁻³	-100.97	-33.9	0.116	21.6	0.172×10 ⁻⁴	—	10×10 ⁹	—	-0.57	—
Co	钴	27	8.9	1494	2870	0.099	58.4	0.165	12.4	5.06(α)	6.6	铁磁性(α)	21406
Cr	铬	24	7.19	1863	2642	0.11	96	0.16	6.2	12.9	2.5	+2.65	25900
Cs	铯	55	1.90	28.39	685	0.052	3.8	—	97	19.0	4.96	+0.1	—
Cu	铜	29	8.96	1084.5	2580	0.092	50.6	0.94	17.0	1.67~1.68(20℃)	4.3	-0.086	11700~12650
Dy	镝	66	8.56	1411	2500	0.041	25.2	0.024	7.7	56.0	1.19	铁磁性	6435
Er	铒	68	9.16	1524	约 2600	0.04	24.5	0.023	10.0	107	2.01	低温时为铁磁性	7475
Eu	铕	63	5.30	818	约 1430	0.039	16.5	—	—	81.3	4.30	—	—
F	氟	9	1.696×10 ⁻³	-219.67	-188.2	0.18	10.1	—	—	—	—	—	—
Fe	铁	26	7.87	1538	2930	0.11	65.5	0.18	11.76	9.7(20℃)	6.0	铁磁性	20000~215050
Ga	镓	31	5.91	29.75	2260	0.079	19.16	0.07	18.3	13.7	3.9	-0.225	—
Gd	钆	64	7.87	1314	约 2700	0.0574	23.5	0.021	0.0~10.0	134.5	1.76	铁磁性	5730
Ge	锗	32	5.323	938.3	2880	0.073	7.3	0.14	5.92	0.86×10 ⁶ ~52×10 ⁶	1.4	-0.12	—
H	氢	1	0.0899×10 ⁻³	-259.347	-252.6	3.45	15.0	4.06×10 ⁻⁴	—	—	—	-1.97	—
He	氦	2	0.1785×10 ⁻³	-271.39(0.95atm)	-268.9	1.25	0.825	3.32×10 ⁻⁴	—	—	10.21(20℃)	-0.47	—

续表

元素符号	元素名称	原子序数	密度 $\gamma(20^{\circ}\text{C})$ /(g/cm ³)	熔点 /°C	沸点 /°C	比热容 C /[kcal /(kg· K)]	熔化热 /(kcal /kg)	热导率 λ /(cal/cm· s·°C)	线胀系数 $\alpha_t \times 10^6$ (0~100°C) /(1/°C)	电阻率 ρ (0°C) /10 ⁻⁸ Ω·m	电阻温度系数 $\alpha \times 10^3(0^{\circ}\text{C})$ /(1/°C)	磁化率 χ_d (18°C) /(10 ⁻⁶ cm ³ /g)	弹性模量 E /(kg/m ²)
Hf	铪	72	2231	5400	3200	0.0351	—	0.223	5.9	32.7~43.9	4.43	—	9800~14060
Hg	汞	80	-38.862	356.58	2210	0.033	2.8	0.0196	182	94.07	0.99	-0.177	—
Ho	钬	67	1472	约 2300	2500	0.039	24.9	—	—	87	1.71	—	6840
I	碘	53	113.6	183	约 2500	0.0520	14.2	10.4×10 ⁻⁴	93	1.3×10 ¹⁵	—	-0.36	—
In	铟	49	156.634	2050	-185.7	0.057	6.8	0.057	33.0	8.2	4.9	-0.11	1070~1125
Ir	铱	77	2447	5300	613(升华)	0.0323	—	0.14	6.5	4.85	4.1	+1.33	52500~53830
K	钾	19	63.2	765	2966	0.1772	14.5	0.24	83	6.55	5.4	+0.455(25°C)	—
Kr	氪	36	-157.38	-153.25	3675	—	—	0.21×10 ⁻⁴	—	—	-0.39	—	—
La	镧	57	921	3470	1640	0.048	17.3	0.033	5.1	56.8	2.18	+1.04	3820~3920
Li	锂	3	180.5	1347	2970	0.79	104.2	0.17	56	8.55	4.6	+0.50	500
Lu	镥	71	1665	1930	1420	0.037	26.29	—	—	79.0	2.40	—	—
Mg	镁	12	649	1108	58.4	0.245	88	0.367	24.3	4.47	4.1	+0.49	4570
Mn	锰	25	1246	2150	4830	0.115	63.7	0.0119(-192°C)	37	185(20°C)	1.7	+9.9	20160
Mo	钼	42	2623	4800	1440	0.66	约 69.8	0.34	4.9	5.17	4.71	+0.04	32200~35000
N	氮	7	-210.01	-195.8	765	0.247	6.2	6×10 ⁻⁵	—	—	—	+0.8	—
Na	钠	11	97.8	892	3468	0.295	27.5	0.32	71	4.27	5.47	+0.51~+0.66	—
Nb	铌	41	2471	5130	-33.9	0.065	69	0.125	7.1	13.1~15.22	3.95	+1.5~+2.28	8720
Nd	钕	60	1017	3180	2870	0.045	11.78	0.031	7.4	64.3(25°C)	1.64	+36	3865
Ne	氖	10	-248.597	-246.0	2642	—	—	0.00011	—	—	—	+0.33	—
Ni	镍	28	1455	2732	685	0.105	73.8	0.22	13.4	6.84	5.0~6.0	铁磁性	19700~22000
Np	镎	93	637	—	2580	—	—	—	50.8	145(20°C)	—	+2.6	—
O	氧	8	-218.8	-182.97	2500	0.218	3.3	59×10 ⁻⁶	—	—	—	+106.2	—
Os	锇	76	3033	5500	约 2600	0.031	—	—	5.7~6.57	9.66	4.2	+0.052	56000
P	磷	15	44.15	280	约 1430	0.177	5.0	—	125	10 ⁷	-0.546	-0.90	—
Pa	镤	91	1230	约 4000	-188.2	—	—	—	—	—	—	+2.6	—
Pb	铅	82	327.502	1750	2930	0.0306	6.26	0.083	29.3	18.8	4.2	-0.12	1600~1828
Pd	钯	46	1554	约 3980	2260	0.0584	34.2	0.168	11.8	9.1	3.79	+5.4	11280~12360
Pm	钷	61	1027	约 2700	约 2700	—	—	—	—	—	—	—	5730
Po	钋	84	254	960	2880	—	—	—	24.4	42±10(α)	4.6(α)	—	—
r	镭	59	932	3020	-252.6	0.045	11.71	0.028 ^a	5.4	44±10(β)	7.0(β)	+25	3590
Pt	铂	78	1772	4530	-268.9	0.0324	26.9	0.165	8.9	68(25°C)	1.71	+1.1	15470~17000

续表

元素符号	元素名称	原子序数	密度 $\gamma(20^{\circ}\text{C})$ /(g/cm ³)	熔点 /°C	沸点 /°C	比热容 C /[kcal /(kg· K)]	熔化热 /(kcal /kg)	热导率 λ /(cal/cm· s·°C)	线胀系数 $\alpha_t \times 10^6$ (0~100°C) /(1/°C)	电阻率 ρ (0°C) /10 ⁻⁸ Ω·m	电阻温度系数 $\alpha \times 10^3(0^{\circ}\text{C})$ /(1/°C)	磁化率 x_d (18°C) /(10 ⁻⁶ cm ³ /g)	弹性模量 E (kg/m ²)
Pu	钚	94	19.0~19.8	640	3235	0.032	—	0.020	50.8	9.2~9.6	3.99	+2.2~+2.52	10125
Ra	镭	88	5.0	700	1500	—	—	—	—	145(28°C)	-0.21	—	—
Rb	铷	37	1.53	39.84	680	0.080	6.5	—	90.0	11	4.81	+0.196(30°C)	—
Re	铼	75	21.03	3186	5900	0.033	—	0.17	6.7	19.5	1.73	+0.046	47100~47600
Rh	铑	45	12.44	1963	4500	0.059(0°C)	—	0.21	8.3	6.02	4.35	+1.1	28000
Rn	氡	86	9.960×10 ⁻³	-71	-61.8	—	—	—	—	—	—	—	—
Ru	钌	44	12.2	2254	4900	0.057(20)	—	—	9.1	7.157	4.49	+0.427	42000
S	硫	16	2.07	115.21	444.6	0.175	9.3	6.31×10 ⁻⁴	64	2×10 ²³ (20°C)	—	-0.48	—
Sb	锑	51	6.68	630.74	1440	0.049	38.3	0.045	8.5~10.8	39.0	5.1	-0.736	7900
Sc	钪	21	2.992	1541	2730	0.134	84.52	—	—	61(22°C)	—	+0.18	—
Se	硒	34	4.808	221	685	0.077	16.4	7×10 ⁻⁴ ~ 18.3×10 ⁻⁴	37	12	4.45	-0.32	5500
Si	硅	14	2.329	1414	3310	0.162(0°C)	432	0.20	2.8~7.2	10	0.8~1.8	-0.12	11500
Sm	钐	62	7.53	1074	1630	0.042	17.29	—	—	88.0	1.48	—	3475
Sn	锡	50	7.298	231.97	2690	0.054	14.5	0.150	23	11.5	4.4	-0.40	4150~4780
Sr	锶	38	2.60	769	1460	0.176	25	—	—	30.7	3.83	-0.2	—
Ta	钽	73	16.67	3020	5400	0.034	38	0.130	6.55	13.1	3.85	+0.93	18820~19200
Tb	铽	65	8.267	1359	2530	0.044	24.54	—	—	—	—	—	5865
Tc	锝	43	11.46	2204	4600	—	—	—	—	—	—	—	—
Te	碲	52	6.24	449.57	990	0.047	32	0.014	17.0	—	—	—	—
Th	钍	90	11.724	1758	4200	0.034	<19.82	0.090	11.3~11.6	1×10 ⁵ ~2×10 ⁵	—	-0.301	4350
Ti	钛	22	4.508	1672	3530	0.124	104	0.036(α)	8.2	19.1	2.26	+0.57	7420
Tl	铊	81	11.85	304	1470	0.031	5.04	0.093	28.0	42.1~47.8	3.97	+3.2	7870
Tm	铥	69	9.325	1547	1700	0.038	26.04	—	—	15~18.1	5.2	-0.215	810
U	铀	92	19.05	1133	3930	0.0275	—	0.071	6.8~14.1	79.0	1.95	—	—
V	钒	23	6.1	1929	3400	0.127	—	0.074	8.3	29.0	2.18~2.76	+2.6	16100~16800
W	钨	74	19.3	3387	5900	0.034	44	0.397	4.6(20°C)	24.8~26	2.8	+4.5	12950~14700
Xe	氙	54	5.495×10 ⁻³	-111.78	-108	—	—	1.24×10 ⁻⁴	—	5.1	4.82	+0.284	35000~41530
Y	钇	39	4.475	1528	约 3200	0.071	46	0.035	—	—	—	—	—
Yb	镱	70	6.966	825	1530	0.035	12.71	—	25	30.3	1.30	+5.3	6760
Zn	锌	30	7.134(25°C)	419.58	907	0.0925	24.09	0.27	39.5	5.75	4.2	—	1815
Zr	锆	40	6.507	1865	3580	0.068	约 60	0.211(25°C)	5.85	39.7~40.5	4.35	-0.157 -0.45	9400~13000 7980~9770

注: 1cal=4.1868J.

4. 7 个晶系和 14 种布拉菲点阵

晶 系	点 阵 常 数	晶 格	结构符号	阵胞内结点数	结 点 坐 标
三斜	$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	简单	aP	1	000
单斜	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	简单	mP	1	000
		底心	mC	2	$000, \frac{1}{2} \frac{1}{2} 0$
正交	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	简单	oP	1	000
		底心	oC	2	$000, \frac{1}{2} \frac{1}{2} 0$
		体心	oI	2	$000, \frac{1}{2} \frac{1}{2} \frac{1}{2}$
		面心	oF	4	$000, \frac{1}{2} \frac{1}{2} 0, \frac{1}{2} 0 \frac{1}{2}, 0 \frac{1}{2} \frac{1}{2}$
正方	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	简单	tP	1	000
		体心	tI	2	$000, \frac{1}{2} \frac{1}{2} \frac{1}{2}$
六方	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ \gamma = 120^\circ$	简单	hP	1	000
菱方	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	简单	hR	1	000
立方	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	简单	cP	1	000
		体心	cI	2	$000, \frac{1}{2} \frac{1}{2} \frac{1}{2}$
		面心	cF	4	$000, \frac{1}{2} \frac{1}{2} 0, \frac{1}{2} 0 \frac{1}{2}, 0 \frac{1}{2} \frac{1}{2}$

5. 晶体的晶面间距与晶面夹角的计算公式

晶 系	d	$\cos \varphi$
立方	$d_{(hkl)} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$	$\frac{h_1 h_2 + k_1 k_2 + l_1 l_2}{\sqrt{h_1^2 + k_1^2 + l_1^2} \sqrt{h_2^2 + k_2^2 + l_2^2}}$
正方	$d_{(hkl)} = \frac{ac}{\sqrt{c^2(h^2 + k^2) + a^2 l^2}}$	$\frac{c^2(h_1 h_2) + a^2 l_1 l_2}{\sqrt{c^2(h_1^2 + k_1^2) + a^2 l_1^2} \sqrt{b^2 c^2 h_2^2 + c^2 a^2 k_2^2 + a^2 b^2 l_2^2}}$
正交	$d_{(hkl)} = 1 / \sqrt{\left(\frac{h}{a}\right)^2 + \left(\frac{k}{b}\right)^2 + \left(\frac{l}{c}\right)^2}$	$\frac{2c^2(2h_1 h_2 + 2k_1 k_2 + k_1 h_2 + h_1 k_2) + 3a^2 l_1 l_2}{\sqrt{c^2(h_1^2 + h_1 k_1 + k_1^2) + 3a^2 l_1^2} \sqrt{c^2(h_2^2 + h_2 k_2 + k_2^2) + 3a^2 l_2^2}}$
六方	$d_{(hkl)} = 1 / \sqrt{\frac{4}{3} \left(\frac{h^2 + hk + k^2}{a^2}\right) + \left(\frac{l}{c}\right)^2}$	$\frac{2c^2(2h_1 h_2 + 2k_1 k_2 + k_1 h_2 + h_1 k_2) + 3a^2 l_1 l_2}{\sqrt{c^2(h_1^2 + h_1 k_1 + k_1^2) + 3a^2 l_1^2} \sqrt{c^2(h_2^2 + h_2 k_2 + k_2^2) + 3a^2 l_2^2}}$
菱方	$\sqrt{\frac{1 + \cos \alpha - 2 \cos^2 \alpha}{(1 + \cos \alpha)(h^2 + k^2 + l^2) - 2 \cos \alpha(hk + kl + lh)}}$	略
单斜	$\frac{abc \sin \beta}{\sqrt{b^2 c^2 h^2 + a^2 c^2 k^2 + a^2 b^2 l^2 - 2ab^2 clh \cos \beta}}$	略
三斜	$\frac{V}{\sqrt{S_{11} h^2 + S_{22} k^2 + S_{33} l^2 + S_{12} hk + 2S_{23} kl + 2S_{31} lh}}$	略

注：表中 $V^2 = abc \sqrt{1 - \cos^2 \alpha - \cos^2 \beta - \cos^2 \gamma - \cos \alpha \cos \beta \cos \gamma}$ ； $S_{11} = b^2 c^2 \sin^2 \alpha$ ； $S_{12} = abc^2 (\cos \alpha \cos \beta - \cos \gamma)$ ； $S_{22} = c^2 a^2 \sin^2 \beta$ ； $S_{23} = a^2 bc (\cos \beta \cos \gamma - \cos \alpha)$ ； $S_{33} = a^2 b^2 \sin^2 \gamma$ ； $S_{31} = ab^2 c (\cos \gamma \cos \alpha - \cos \beta)$ 。

6. 常用物理常数

物理量	符号	数值	物理量	符号	数值
阿伏伽德罗常数	N_A	$6.023 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$	真空光速	c	$3 \times 10^8 \text{ m/s}$
玻尔兹曼常数	k	$1.381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$	真空磁导率	μ_0	$4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$
		$8.62 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$	电子电荷	e	$1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$
普朗克常数	h	$6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$	原子质量常量	m_u	$1.661 \times 10^{-19} \text{ C}$
气体常数	R	$8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$	电子质量	m_e	$9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}$
法拉第常数	F	$9.649 \times 10^4 \text{ C/mol}$	质子质量	m_p	$1.673 \times 10^{-27} \text{ kg}$
真空介电常数	ϵ_0	$8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$	中子质量	m_n	$1.675 \times 10^{-27} \text{ kg}$
波尔磁子	μ_B	$9.27 \times 10^{-24} \text{ A} \cdot \text{m}^2$			

7. 国家法定计量单位

我国法定计量单位是以国际单位制（SI[●]）单位为基础，加上我国选定的一些非国家单位制的单位构成的。具体来说，包括以下 5 个部分：

- (1) 国际单位制的基本单位（见表 7-1）；
- (2) 包括辅助单位在内的具有专门名称的国际单位制导出单位（见表 7-2）；

表 7-1 国际单位制（SI）的基本单位

量的名称	单位名称	单位符号	量的名称	单位名称	单位符号
长度	米	m	热力学温度	开[尔文]	K
质量	千克(公斤)	kg	物质的量	摩[尔]	mol
时间	秒	s	发光强度	坎[德拉]	cd
电流	安[培]	A			

表 7-2 包括辅助单位在内的具有专门名称的国际单位制导出单位

量的名称	单位名称	单位符号	其他表示示例
[平面]角	弧度	rad	
立体角	球面度	sr	
频率	赫[兹]	Hz	s^{-1}
力	牛[顿]	N	$\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$
压力,压强,应力	帕[斯卡]	Pa	$\text{N}/\text{m}^2, \text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s}^2)$
能[量],功,热[量]	焦[耳]	J	$\text{N} \cdot \text{m}, \text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$
功率,辐[射能]通量	瓦[特]	W	$\text{J}/\text{s}, \text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^3$
电荷[量]	库[仑]	C	$\text{A} \cdot \text{s}$
电压,电动势,电位,(电势)	伏[特]	V	$\text{W}/\text{A}, \text{kg} \cdot \text{m}^2/(\text{A} \cdot \text{s}^3)$
电容	法[拉]	F	$\text{C}/\text{V}, \text{A}^2 \cdot \text{s}^4/(\text{kg} \cdot \text{m}^2)$
电阻	欧[姆]	Ω	$\text{V}/\text{A}, \text{kg} \cdot \text{m}^2/(\text{A}^2 \cdot \text{s}^3)$
电导	西[门子]	S	$\text{A}/\text{V}, \text{A}^2 \cdot \text{s}^3/(\text{kg} \cdot \text{m}^2)$
磁通[量]	韦[伯]	Wb	$\text{V} \cdot \text{s}, \text{kg} \cdot \text{m}^2/(\text{A} \cdot \text{s}^2)$
磁通[量]密度,磁感应强度	特[斯拉]	T	$\text{Wb}/\text{m}^2, \text{kg}/(\text{A} \cdot \text{s}^2)$
电感	亨[利]	H	$\text{Wb}/\text{A}, \text{kg} \cdot \text{m}^2/(\text{A}^2 \cdot \text{s}^2)$
摄氏温度	摄氏度	$^{\circ}\text{C}$	
光通量	流[明]	lm	$\text{cd} \cdot \text{sr}$
[光]照度	勒[克斯]	lx	$\text{lm}/\text{m}^2, \text{cd} \cdot \text{sr}/\text{m}^2$
[放射性]活度	贝可[勒尔]	Bq	s^{-1}
吸收剂量,比授[予]能,比释动能	戈[瑞]	Gy	$\text{J}/\text{kg}, \text{m}^2/\text{s}^2$
剂量当量	希[沃特]	Sv	$\text{J}/\text{kg}, \text{m}^2/\text{s}^2$

● SI 是国际单位制（Le Systeme International d Unites）的法文缩写。国际单位制及其法文缩写于 1960 年第 11 届国际计量大会（CGPM）通过。

- (3) 可与国际单位制单位并用的我国法定计量单位（见表 7-3）；
- (4) 由以上单位构成的组合形式的单位；
- (5) 由国际单位制词头（见表 7-4）与以上单位构成的十进倍数和分数单位。
- 法定单位的定义、使用方法等，详见国家标准 GB 3100~3102—93 量和单位。

表 7-3 可与国际单位制单位并用的我国法定计量单位

量的名称	单位名称	单位符号	换算关系和说明
时间	分	min	1min=60s
	[小]时	h	1h=60min=3600s
	日,(天)	d	1d=24h=86400s
[平面]角	[角]秒	($''$)	1 $''$ =(π /648000)rad
	[角]分	($'$)	1 $'$ =60 $''$ =(π /10800)rad
	度	($^{\circ}$)	1 $^{\circ}$ =60 $'$ =(π /180)rad
旋转速度	转每分	r/min	1r/min=(1/60)s $^{-1}$
长度	海里	n mile	1n mile=1852m(只用于航行)
质量	吨	t	1t=10 3 kg
	原子质量单位	u	1u \approx 1.6605402 \times 10 $^{-27}$ kg
体积	升	L(l)	1L=1dm 3 =10 $^{-3}$ m 3
能	电子伏	eV	1eV \approx 1.60217733 \times 10 $^{-19}$ J
级差	分贝	dB	
线密度	特[克斯]	tex	1tex=g/km
土地面积	公顷	hm 2	1hm 2 =10 4 m 2
速度	节	kn	1kn=1n mile/h=(1852/3600)m/s(只用于航行)

表 7-4 国际单位制词头

因 数	词 头 名 称		词头符号	因 数	词 头 名 称		词头符号
	英 文	中 文			英 文	中 文	
10 24	yotta	尧[它]	Y	10 $^{-1}$	deci	分	d
10 21	zetta	泽[它]	Z	10 $^{-2}$	centi	厘	c
10 18	exa	艾[可萨]	E	10 $^{-3}$	milli	毫	m
10 15	peta	拍[它]	P	10 $^{-6}$	micro	微	μ
10 12	tera	太[拉]	T	10 $^{-9}$	nano	纳[诺]	n
10 9	giga	吉[咖]	G	10 $^{-12}$	pico	皮[可]	p
10 6	mega	兆	M	10 $^{-15}$	femto	飞[母托]	f
10 3	kilo	千	k	10 $^{-18}$	atto	阿[托]	a
10 2	hecto	百	h	10 $^{-21}$	zepto	仄[普托]	z
10 1	deca	十	da	10 $^{-24}$	yocto	幺[科托]	y

- 注（表 7-1~表 7-4）：
1. 周、月、年（年的符号为 a，法文 année）为一般常用时间单位。
 2. [] 内的字，是在不致混淆的情况下，可以省略的字。
 3. () 内的字为前者的同义词。
 4. 角度单位度、分、秒的符号不处于数字后时，用括号。
 5. 升的符号中，小写字母 l 为备用符号。
 6. r 为“转”的符号。
 7. 人民生活和贸易中，质量习惯称为重量。
 8. 公里为千米的俗称，符号为 km。
 9. 公顷的国际通用符号为 ha。
 10. 10 4 称万，10 8 称为亿，10 12 称为万亿，这类数词的使用不受词头名称的影响，但不应与词头混淆。

8. 与国际单位制（SI）有关内容的简介

与国际单位制（SI）有关的内容具体见表 8-1～表 8-8。

表 8-1 空间与时间的国际单位制（SI）单位

量的名称	单位名称	单位符号		备注
		中文	国际	
面积	平方米	米 ²	m ²	
体积	立方米	米 ³	m ³	
速度	米每秒	米/秒	m/s	
加速度	米每秒平方	米/秒 ²	m/s ²	
角速度	弧度每秒	弧度/秒	rad/s	
角加速度	弧度每秒平方	弧度/秒 ²	rad/s ²	

表 8-2 周期现象的国际单位制（SI）单位

量的名称	单位名称	单位符号		备注
		中文	国际	
频率	赫兹	赫	Hz	1 Hz=1 s ⁻¹
转数	1 每秒	1/秒	s ⁻¹	
波数	1 每米	1/米	m ⁻¹	

表 8-3 力学的国际单位制（SI）单位

量的名称	单位名称	单位符号		备注
		中文	国际	
密度	千克(公斤)每立方米	千克(公斤)/米 ³	kg/m ³	1 牛=1 千克·米/秒 ²
线密度	千克每米	千克/米	kg/m	
重力,力	牛顿	牛	N	
力矩	牛顿米	牛·米	N·m	1 帕=1 牛/米 ²
动量	千克米每秒	千克·米/秒	kg·m/s	
压强,压力	帕斯卡	帕	Pa	
应力	帕斯卡	帕	Pa	1 焦=1 牛·米 1 瓦=1 焦/秒
能量,功	焦耳	焦	J	
功率	瓦特	瓦	W	
体积流量	立方米每秒	米 ³ /秒	m ³ /s	
质量流量	千克每秒	千克/秒	kg/s	

表 8-4 热学的国际单位制（SI）单位

量的名称	单位名称	单位符号		备注
		中文	国际	
热力学温度	开尔文	开	K	摄氏温度由下式定义： $t = T - T_0$ ，式中， T 是热力学温度， t 是摄氏温度， $T_0 = 273.15\text{K}$
摄氏温度	摄氏度	摄氏度	℃	
温度差	开尔文	开	K	亦可用摄氏度
线胀系数	1 每开尔文	1/开	K ⁻¹	亦可用摄氏度代替开尔文
热量	焦耳	焦	J	
热流量	瓦特	瓦	W	

表 8-5 电磁学的国际单位制 (SI) 单位

量的名称	单位名称	单位符号		备注
		中文	国际	
电量	库仑	库	C	
电荷面密度	库仑每平方米	库/米 ²	C/m ²	
电场强度	伏特每米	伏/米	V/m	
电压、电势(位)、电动势	伏特	伏	V	1 伏=1 瓦/安
电容	法拉第	法	F	1 法=1 库/伏
电阻	欧姆	欧	Ω	1 欧=1 伏/安
电导	西门子	西	S	1 西=1 安/伏
电导率	西门子每米	西/米	S/m	
磁场强度	安培每米	安/米	A/m	
磁位差	安培	安	A	
磁通势	安培	安	A	
磁通量	韦伯	韦	Wb	1 韦=1 伏·秒
磁感强度	特斯拉	特	T	1 特=1 韦/米 ²
磁通密度	特斯拉	特	T	
电感	亨利	亨	H	1 亨=1 韦/安

表 8-6 原子物理学与光、电磁学的国际单位制 (SI) 单位

量的名称	单位名称	单位符号		备注
		中文	国际	
能级宽度	焦耳	焦	J	
截面	平方米	米 ²	m ²	
光通量	流明	流	lm	1 流=1 坎·球面度
光照度	勒克斯	勒	lx	1 勒=1 流/米 ²
辐照量	库仑每千克	库/千克	C/kg	
辐照率	库仑每千克秒	库/(千克·秒)	C/(kg·s)	
吸收剂量	戈瑞	戈	Gy	1 戈=1 焦/千克
剂量当量	希沃特	希	Sv	1 希=1 焦/千克
活度	贝可勒尔	贝可	Bq	1 贝可=1/秒

表 8-7 英制常用单位与国际单位制 (SI) 单位

英制单位		国际单位(SI)		换算关系
名称	符号	名称	符号	
英寸	in	米	m	1in=0.02544m
英尺	ft			1ft=0.3048m
码	yd			1yd=0.9144m
英里	mile			1mile=1609m
平方码	yd ²	平方米	m ²	1yd ² =0.836127m ²
英亩	acre			1acre=4046.86m ²
平方英里	mile ²			1mile ² =2.58999km ²
立方码	yd ³	立方米	m ³	1yd ³ =0.7646m ³
美加仑	US gal			1US gal=3.785×10 ⁻³ m ³
英加仑	UK gal			1UK gal=4.546×10 ⁻³ m ³
英夸脱	UK qt			1UK qt=1.137×10 ⁻³ m ³
英品脱	UK pt			1UK pt=5.683×10 ⁻⁴ m ³
英及尔	UK gi			1UK gi=1.421×10 ⁻⁴ m ³
英液盎司	UK fl oz			1UK fl oz=2.841×10 ⁻⁵ m ³
英液打兰	UK fl dr			1UK fl dr=3.552×10 ⁻⁶ m ³

续表

英制单位		国际单位(SI)		换算关系
名称	符号	名称	符号	
磅	lb	千克	kg	1lb=453.592g
英吨	ton			1ton=1016kg
盎司(常衡)	oz			1oz=28.3495g
盎司(药衡)	oz			1oz=31.1035g
华氏度	°F	开尔文	K	1°F=0.555556K
兰氏度	°R	摄氏度	°C	1°R=1.25°C
磅力	lbf	牛顿	N	1lbf=4.44822N
盎司力	ozf			1ozf=0.278014N
英吨力	tozf			1tozf=9964.02N
托	Torr	帕斯卡	Pa	1torr=133.322Pa
磅力每平方英寸	psi			1psi=6.8947kPa
泊	P	帕秒	Pa·s	1P=0.1Pa·s
斯托克斯	St	平方米每秒	m ² /s	1St=10 ⁻⁴ m ² /s
Btu(英国热量单位)	Btu	焦耳	J	1Btu=1.055056×10 ³ J
Btu/h	Btu/h	瓦特	W	1Btu/h=0.2930711W
英制马力	hp			1hp=745.7W
辐透	ph	勒克斯	lx	1ph=10 ⁴ lx
英尺烛光	fc			1fc=10.76lx
照提	sb	坎每平方米	cd/m ²	1sb=10 ⁴ cd/m ²

表 8-8 若干废弃单位与国际单位制 (SI) 单位的关系

单位名称	单位符号	换算关系
丝		1 丝=0.1mm
忽		1 忽=10μm
微	μ	1μ=1μm
埃	Å	1Å=0.1nm
费米	fm	1fm=10 ⁻¹⁵ m
达因	dyn	1dyn=10 ⁻⁵ N
千克力	kgf	1kgf=9.80665N
吨力	tf	1tf=9.80665kN
公斤(力)/毫米 ²	kg(f)/mm ²	1kg(f)/mm ² =9.80665Pa
标准大气压	atm	1atm=101.325kPa
工程大气压	at	1at=9.80665×10 ⁴ Pa
托	Torr	1Torr=133.322Pa
巴	bar	1bar=10 ⁵ Pa
毫米汞柱	mmHg	1mmHg=133.322Pa
毫米水柱	mmH ₂ O	1mmH ₂ O=9.80665Pa
西西	cc	1cc=1mL
[米制]克拉	carat	1carat=200mg
尔格	erg	1erg=10 ⁻⁷ J
卡	cal	1cal=4.1868J
大卡,千卡	kcal	1kcal=4.1868kJ
度		1 度=1kW·h
[米制]马力		1 马力=735.499W
伦琴	R	1R=2.58×10 ⁻⁴ C/kg
尼特(亮度)	nt	1nt=1cd/m ²
屈光度	D	1D=1m ⁻¹
奥斯特	Oe	1Oe=79.5775A/m
高斯	Gs	1Gs=10 ⁻⁴ T
麦克斯韦	Mx	1Mx=10 ⁻⁸ Wb
体积克分子浓度	M	1M=1mol/L

参 考 文 献

- 1 蔡珣, 戎咏华. 材料科学基础辅导与习题. 上海: 上海交通大学出版社, 2003
- 2 刘智恩. 材料科学基础常见题型解析及模拟题. 西安: 西北工业大学出版社, 2001
- 3 陈秀琴, 刘和. 金属学原理习题集. 上海: 上海科学技术出版社, 1988
- 4 石德珂. 材料科学基础. 北京: 机械工业出版社, 1999
- 5 钟家湘等. 金属学教程. 北京: 北京理工大学出版社, 1995
- 6 赵品等. 材料科学基础. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1999
- 7 [美] 唐纳德·R. 阿斯科兰. 材料科学与工程. 北京: 宇航出版社, 1988
- 8 潘金生等. 材料科学基础. 北京: 清华大学出版社, 1995
- 9 胡赓祥, 蔡珣. 材料科学基础. 上海: 上海交通大学出版社, 2000
- 10 张联盟, 黄学辉, 宋晓岚编. 材料科学基础. 武汉: 武汉工业大学出版社, 2004
- 11 王国梅, 万发荣主编. 材料物理. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2004
- 12 余永宁. 金属学原理. 北京: 冶金工业出版社, 2000
- 13 余焜. 材料结构分析基础. 北京: 科学出版社, 2000
- 14 杨顺华, 丁棣华. 晶体位错理论基础. 北京: 科学出版社, 1998
- 15 Smallman R E, Bishop R J. Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering, Sixth Edition, Reed Educational and Professional Publishing Ltd, 1999
- 16 Callister W D. Jr. Materials Science and Engineering An Introduction, sixth edition, John Wiley & Sons, Inc., 2003