

北京科技大学

试 卷 七

2002 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：金属学

适用专业：材料加工工程、钢铁冶金、有色金属冶金、科学技术史

说 明：统考生做一至九题；单考生做一至六和十至十二题

一、名词解释（20 分，每个 2.5 分）

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

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

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

四、画图并叙述形变过程中位错增殖的机制。(10 分)

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

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

七、简述固态相变与液态相变的相同点与不同点。(10 分)

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

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

十、分析含碳量 0.12% 的铁碳合金的结晶过程（单考生做）。(10 分)

十一、简述铸锭的宏观偏析（单考生做）。(10 分)

十二、简述金属晶体中缺陷的类型（单考生做）。(10 分)

参 考 答 案

一、

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

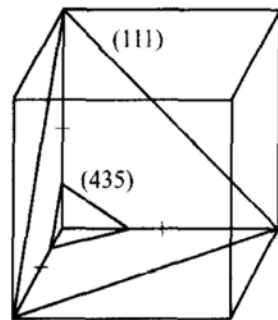


图 7-1 第二题解答图

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

三、分为三晶区：激冷区、柱状晶区、中心等轴晶区。

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

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

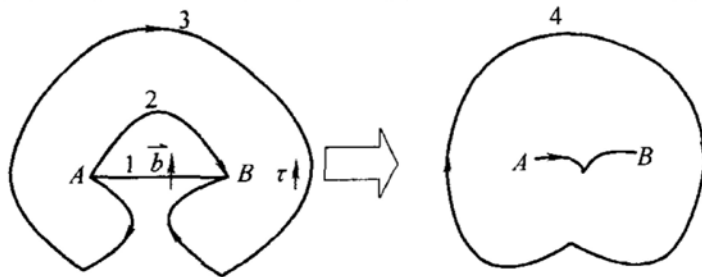


图 7-2 第四题解答图

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

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

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

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

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

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

八、铁碳相图略。

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

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

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

九、凝固时形核的驱动力，是新、旧相化学位差，再结晶驱动力只是形变储存能。

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

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

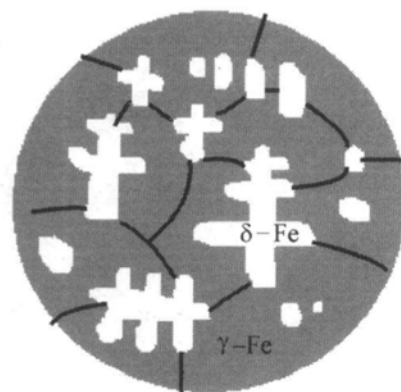


图 7-3 第十题解答图

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

十一、宏观偏析分：正常偏析、反常偏析和比重偏析。

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

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

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

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

试 卷 八

2003 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：金属学

适用专业：科学技术史、冶金物理化学、钢铁冶金、有色金属、材料
加工工程

说 明：统考生做一至十一题；单考生做一至七、十二至十五题

一、名词解释（30 分）

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

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

三、什么是点阵参数？正方晶系和立方晶系的空间点阵特征是什么？画出立方晶系中 $(12\bar{3})$ 的晶面。（12 分）

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

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

六、简述晶界和晶粒大小对多晶体范性变形的作用与影响。（12 分）

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

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

九、简述固态相变的一般特点。（12 分）（统考生做，单考生不做）

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

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

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

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

十四、简述连续脱溶和不连续脱溶的含义。(12分)(单考生做，统考生不做)

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

参 考 答 案

一、

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

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

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

4. 形变织构：多晶形变过程中出现的晶体学取向择优现象。

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

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

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

共析与共晶相似，只是母相是固相，即一个固相同时生成另两个不同成分的固相。

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

这三种反应出现时，自由度都是 0，即三相成分固定，温度也固定。

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

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

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

立方晶系中 $(12\bar{3})$ 的晶面如图 8-1 所示。

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

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

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

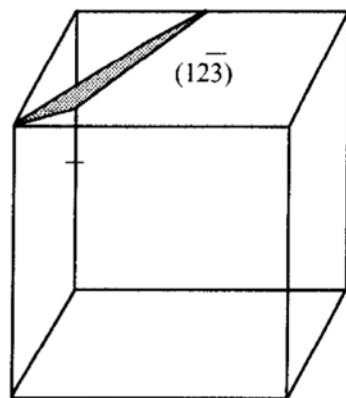


图 8-1 第三题解答图

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

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

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

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

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

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

八、略。

九、

①相变阻力中多了应变能一项。

②形核方面:非均匀形核,存在特定的取向关系,常为共格或半共格界面。

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

④有亚稳相出现以减少相变阻力。

十、凝固时宏观特征是:要有一定的过冷度,会放出明显的结晶潜热。

成长机理有三种:连续式成长、二维形核及借助台阶侧向生长、借螺旋位错生长。

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

影响固溶度的因素有:

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

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

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

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

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

十二、

①提高冷却速度从而加大了过冷度。相变驱动力加大,提高了形核率。

②加孕育剂。提供大量的非均匀形核地点,提高了形核率,降低了形核位垒。

③机械或电磁搅拌。将枝晶振碎增加核数目或加强热激活能量落,提高了形核率。

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

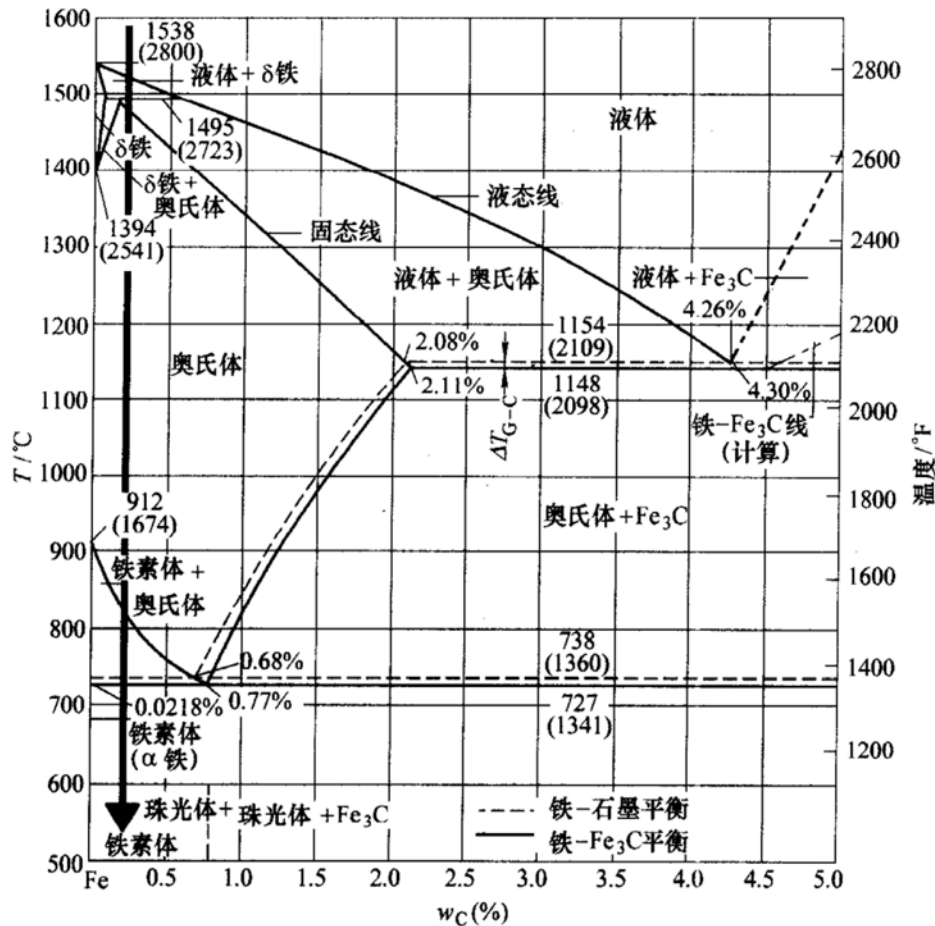


图 8-2 第十三题解答图

十四、连续脱溶：随新相生成，母相成分连续地由过饱和态转变到饱和态。

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

十五、有四类：

点缺陷：沿三个方向的尺寸很小，溶质原子、间隙原子、空位。

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

面缺陷：沿一个方向上的尺寸很小，另两个方向上的尺寸很大，如晶界，相界。

体缺陷：在三个方向上的尺寸都较大，但不是很大，如第二相粒子，显微空洞。

试 卷 九

2004 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：金属学

适用专业：材料学、材料科学与工程、材料加工工程

说 明：统考生做一至十一题；单考生做一至八和十二至十四题

一、简述题（4分/小题，共40分）

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

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

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

四、讨论晶体结构和空间点阵之间的关系。（10分）

五、什么是固溶体？讨论影响固溶体溶解度的主要因素。（10分）

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

七、画出 Fe-Fe₃C 相图，分析含碳量为 1.1wt%（重量百分比）的铁碳合金从液相平衡凝固到室温时的转变过程，画出组织转变示意图，并计算出室温时各组织的相对含量。（20分）

八、分析和讨论影响金属或合金中原子扩散的主要因素。（10分）

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

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

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

十二、分析固态相变和回复再结晶过程的驱动力。(10 分)

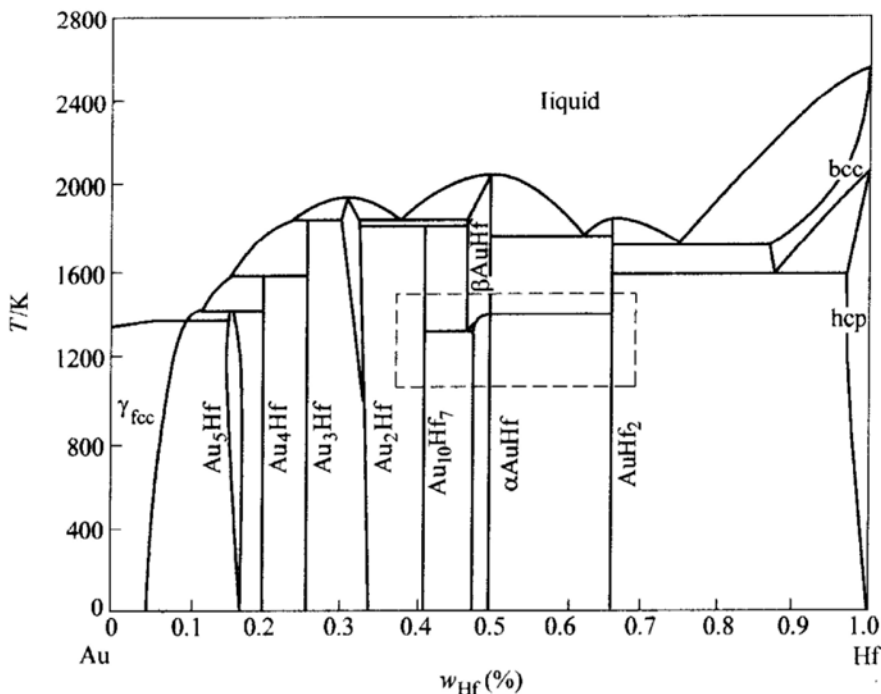


图 9-1 第十一题图

十三、叙述钢锭中常见的宏观组织缺陷, 消除或改善方法。(10 分)

十四、叙述常见的金属晶体中的内外界面。(10 分)

参 考 答 案

一、

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

2. 金属键: 自由电子与原子核之间静电作用产生的键合力。

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

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

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

6. 滑移系: 晶体中一个可滑移面及该面上一个可滑移晶向合称一个滑移系。

7. 位错: 是晶体内的一种线缺陷, 其特点是沿一条线方向原子有规律地发

生错排；这种缺陷用一线方向和一个柏氏矢量共同描述。

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

9. 偏析：合金中化学成分的不均匀性。

10. 马氏体相变：其过程遵循无扩散、切变方式的相转变。

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

三、见图 9-2。

四、两者之间的关系可用“空间点阵 + 基元 = 晶体结构”来描述。

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

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

影响固溶度的因素有：

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

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

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

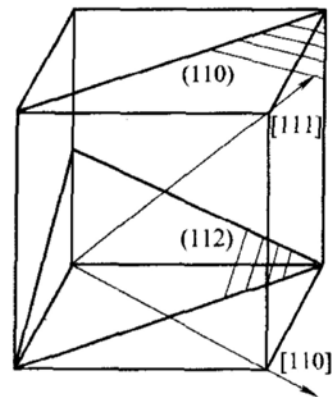


图 9-2 第三题解答图

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

七、铁碳相图略。

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

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

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

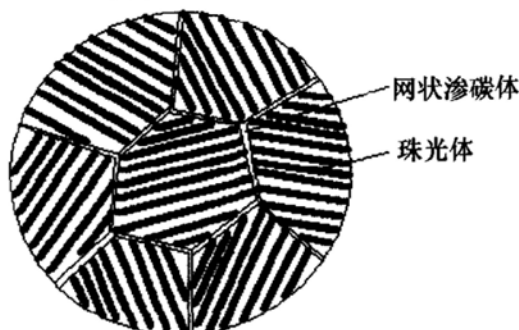


图 9-3 第七题解答图

八、影响扩散的因素有:

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

界面、表面及位错: 它们是扩散的快速通道。

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

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

熔点: 同一合金系中, 同一温度下熔点高的合金中扩散慢, 熔点低的扩散快。

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

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

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

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

十、

①相变阻力中多了应变能一项。

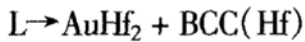
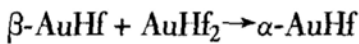
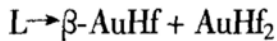
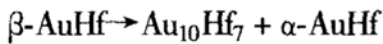
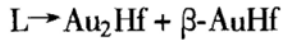
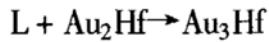
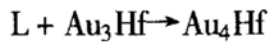
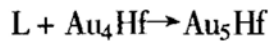
②形核方面: 非均匀形核为主; 具有特定的取向关系; 相界面常为共格或半共格的。

③生长方面: 具有惯习现象, 有特定的组织形态, 如片状、针状。

④有亚稳相。

十一、

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



虚线框内部分可能的相平衡关系局部扩大示意于图 9-4。

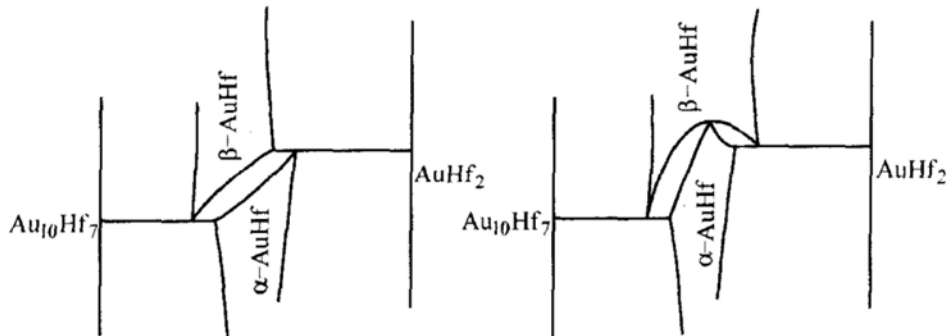


图 9-4 第十一题解答图

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

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

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

十四、它们包括晶界、相界、表面、孪晶界、层错。

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

试 卷 十

2005 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：金属学

适用专业：材料学、材料科学与工程、材料加工工程

说 明：统考生做一至九题；单考生做一至六和十至十二题

一、晶体结构 (20 分)

1. 什么是晶面族？ $\{111\}$ 晶面族包含哪些晶面？

2. 面心立方结构金属的 $[100]$ 和 $[111]$ 晶向间的夹角是多少？ $\{100\}$ 面间距是多少？

3. 面心立方结构和密排六方结构金属中的原子堆垛方式和致密度是否有差异？请加以说明。

二、合金相 (15 分)

1. 解释间隙固溶体和间隙相的含义，并加以比较。

2. 为什么固溶体的强度常比纯金属高？

三、晶体缺陷 (15 分)

1. 晶体内若有较多的线缺陷（位错）或面缺陷（晶界、孪晶界等），其强度会明显升高，这些现象称为什么？强度提高的原因是什么？

2. 上述的两类缺陷是怎样进入晶体的？举例说明如何提高这些缺陷的数目？

四、相图热力学 (10 分)

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

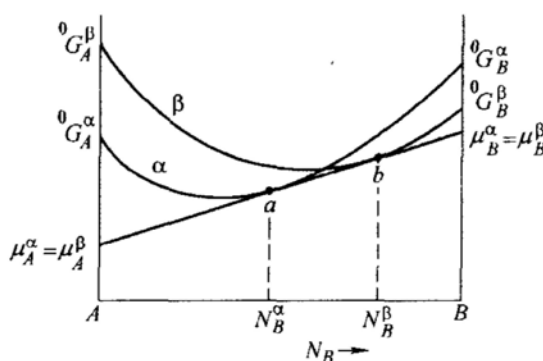


图 10-1 第四题图

五、凝固 (20 分)

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

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

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

六、扩散 (20 分)

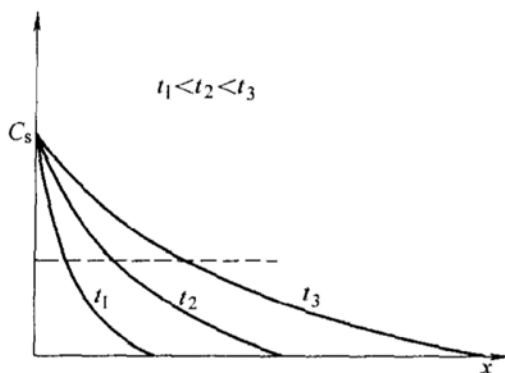


图 10-2 第六题第 1 小题图

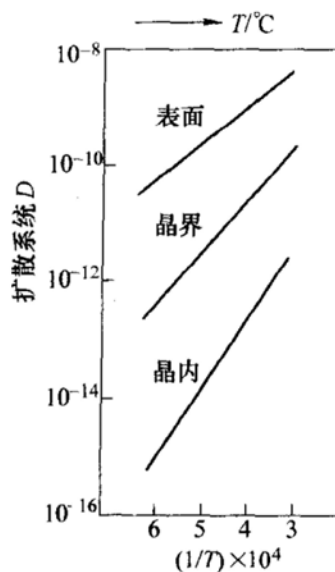


图 10-3 第六题第 2 小题图

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

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

七、形变 (20 分)

1. 常温下金属塑性变形有哪些主要机制? 它们间的主要差异是什么?

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

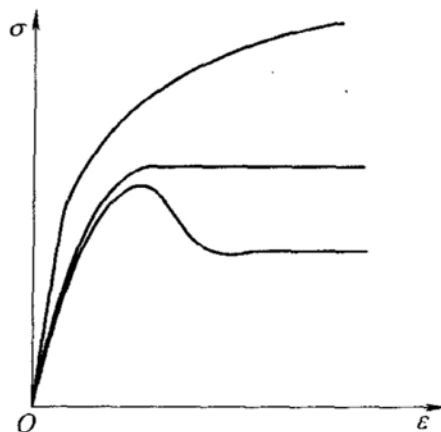


图 10-4 第七题第 2 小题图

这样的形状?

3. 什么是上、下屈服点效应 (在纯铁或低碳钢中)? 原因是什么?

八、再结晶 (20 分)

1. 给出金属发生再结晶的基本条件 (驱动力)。

2. 指出再结晶、结晶、固态相变之间的主要区别。

3. 图 10-5 示意画出一种常见的再结晶形核机制, 请解释该地点优先形核的原因和形核过程。

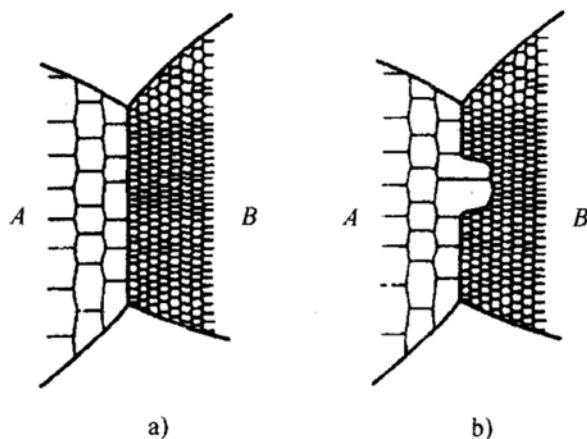


图 10-5 第八题第 3 个小题图

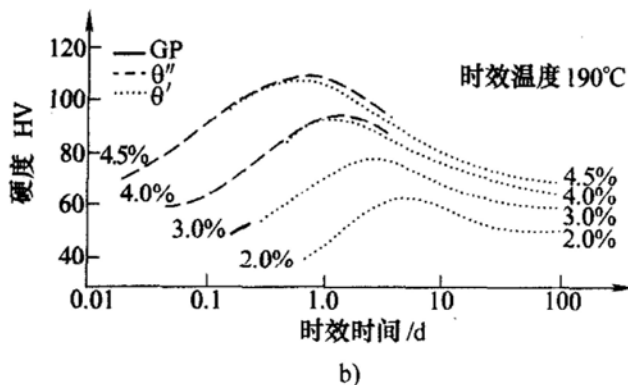
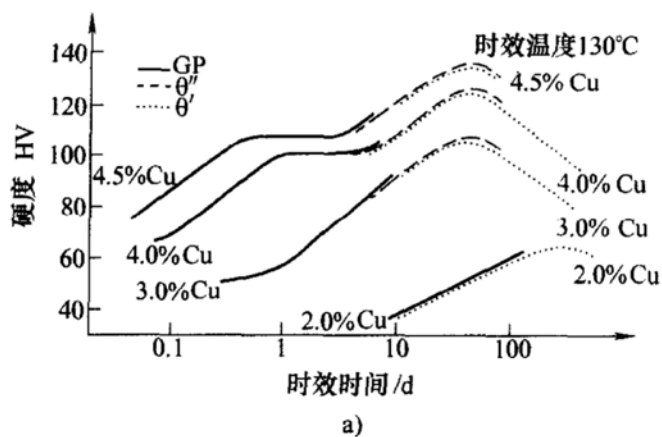


图 10-6 第九题图

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

九、固态相变 (10 分)

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

十、固态相变 (15 分)

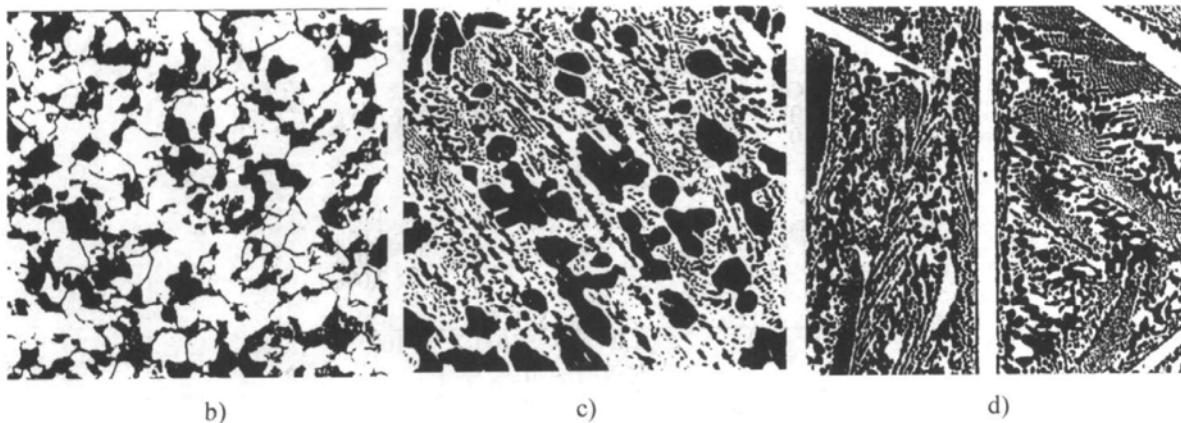
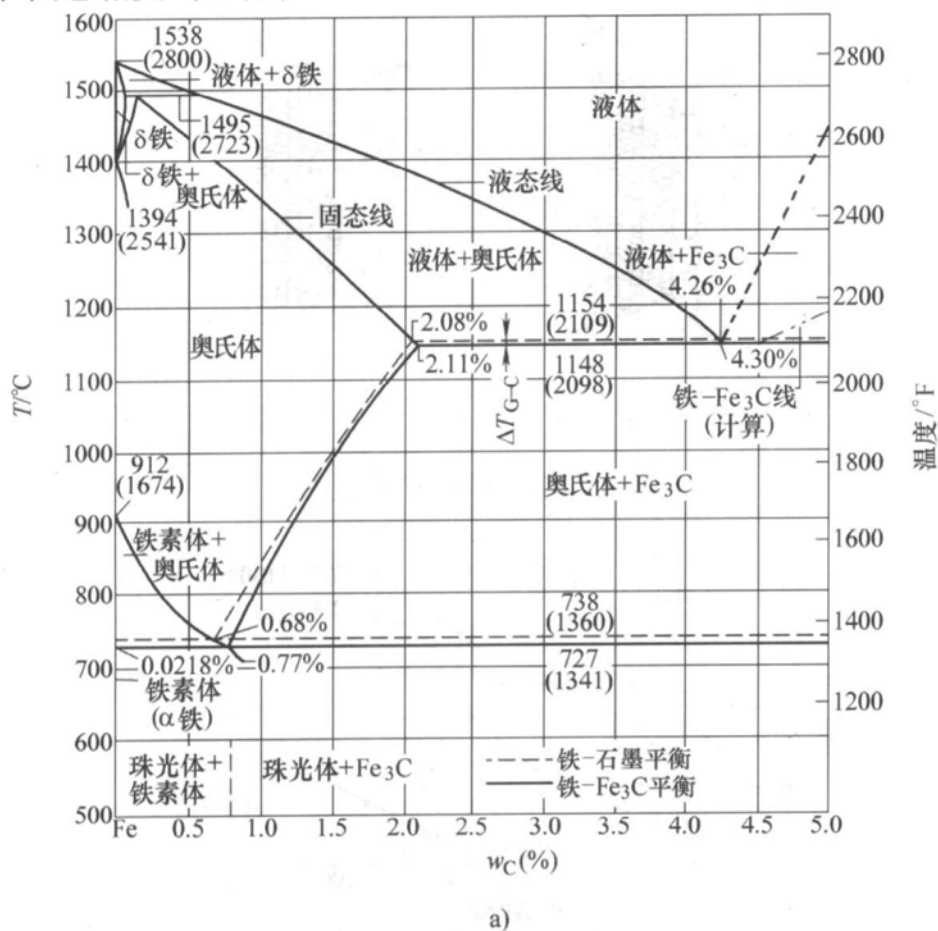


图 10-7 第十二题图

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

十一、形变 (15 分)

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

十二、铁碳相图 (20 分)

1. 图 10-7a 为铁碳相图,图 10-7b、c、d 分别为 3 个不同成分(设为 0.45% C、3.4% C、4.7% C)的铁碳合金缓冷凝固组织(包括随后的固态相变、硝酸酒精浸蚀)。说明它们各是哪个成分的合金,为什么?
2. 分析图 10-7d 组织的凝固过程,并计算该合金中白色长条状组织的重量相对量(Fe_3C 含 6.69% C)。

参 考 答 案

一、

1. 晶体中原子或分子排列相同的晶面的组合称为晶面族。因对称关系,这些面往往不止一种。立方系 $\{111\}$ 晶面族包括 (111) 、 $(\bar{1}11)$ 、 $(1\bar{1}1)$ 、 $(11\bar{1})$ 四个。
2. 晶面间夹角 $\cos\varphi = 1/\sqrt{3}$; $\varphi = 54.7^\circ$ 。面间距 $d = a/2$ (a 为点阵常数)。
3. FCC 按 $ABCABC$ 方式堆垛,而 HCP 按 $ABABAB$ 堆垛;致密度无差异,都是 0.74。

二、

1. 前者为固溶体,保持溶剂的晶体结构,且溶解度很低;后者是中间相(尺寸因素化合物),且 A、B 原子数成比例。性能上有很大差异,前者韧、塑性好;后者硬,塑性差。共性是两者中的合金组元都在间隙位置,本身尺寸很小。
2. 因合金中两类原子尺寸不同,引起点阵畸变,阻碍位错运动,造成固溶强化。

三、

1. 称形变强化和晶界强化(或细晶强化)。原因是两类缺陷的增多都明显阻碍位错的运动,从而提高强度。
2. 位错的增多主要靠形变,通过萌生与增殖在晶粒内不断产生位错;晶粒细化可通过凝固时加非均匀形核剂或高的冷却速度获得,也可通过大形变,或再结晶,或相变的方法。

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

两相自由能的加权值（在公切线直线上）低。

五、

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

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

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

六、

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

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

七、

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

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

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

八、

1. 要有一定的形变储存能，一定的温度。

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

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

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

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

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

十、

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

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

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

十二、

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

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

试 卷 十 一

2006 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：金属学

适用专业：材料加工工程、材料学、材料科学与工程

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

一、晶体结构（20 分）

1.（以面心立方晶胞为例）描述晶体结构（晶胞）特征的常用参数有哪些？

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

二、合金相（20 分）

1.（以金属为基的）固溶体与中间相的主要差异（如结构、键性、性能）是什么？

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

三、晶体缺陷（20 分）

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

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

四、相图及凝固（30 分）

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

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

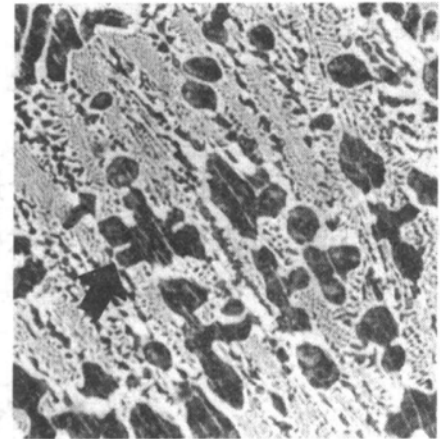
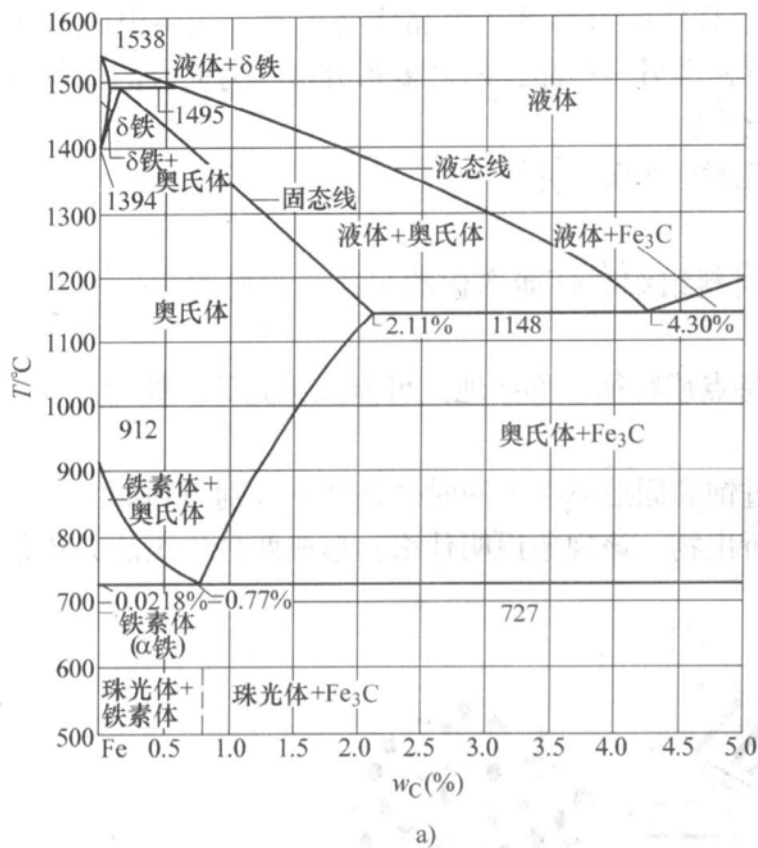


图 11-1 第四题第 1 小题图

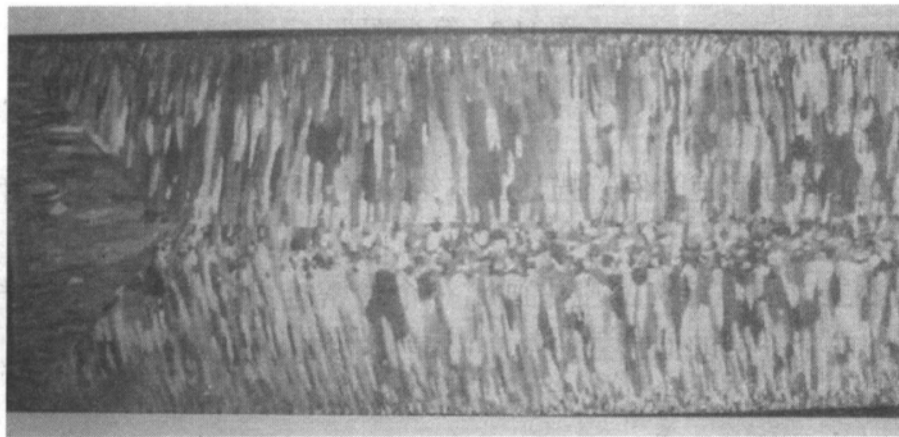


图 11-2 第四题第 2 小题图

五、扩散 (10 分)

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

六、形变 (20 分)

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

2. 什么是形变织构？有哪几类？如何表示？

七、再结晶 (20 分)

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

2. 再结晶形核地点有什么特点或特征？哪些地点可能是优先的形核地点？

八、固态相变 (10 分)

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

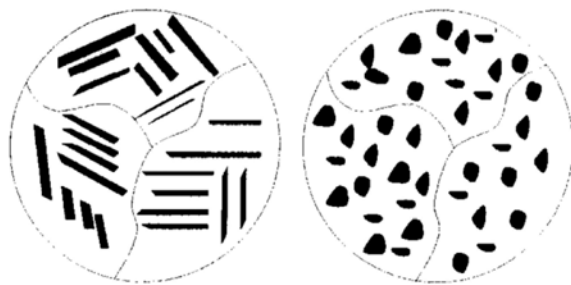


图 11-3 第八题图

九、晶体结构 (20 分)

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

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

十、相图及凝固 (20 分)

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

十一、再结晶 (10 分)

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

参 考 答 案

一、

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

2. 如图 11-4, 构成晶带关系。

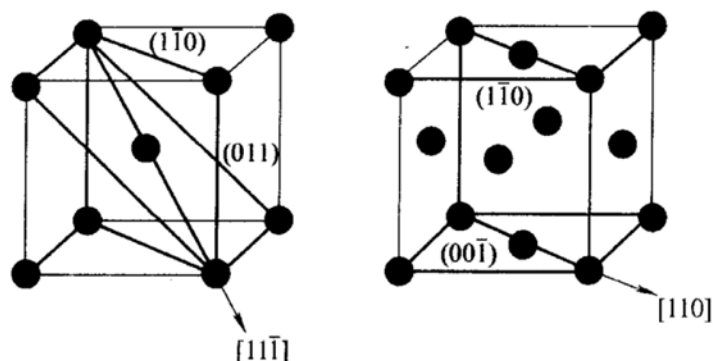


图 11-4 第一题第 2 小题解答图

二、

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

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

三、

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

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

四、

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

箭头所指的是枝晶状珠光体, 它是由奥氏体枝晶转变来的, 其相对量为:

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

严格计算时还应扣除二次渗碳体, 即:

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

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

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

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

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

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

六、

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

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

七、

1. 随退火温度的升高或退火时间的延长, 形变组织中的位错缠结演变为亚晶, 亚晶进行合并并长大; 在形变不均匀区内发生再结晶形核及长大, 等轴晶取

代形变长条晶粒；随后是晶粒正常长大；在性能上，强度、硬度下降，电阻下降；塑、韧性提高，密度提高。这些过程在再结晶阶段比回复阶段更显著。材料不断的塑性变形造成强烈的加工硬化，难以继续加工；同时，形变组织不稳定，韧性、塑性差，使用性能不好；再有，强的形变组织的形成也是不希望的。

2. 局部高的位错密度/形变储存能，或有大的位错密度差异；高迁移率大角晶界附近。优先形核地点为：原始晶界、形变时形成的新大角晶界处或通过亚晶长大而逐步形成的大角晶界、第二相粒子附近等。

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

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

九、

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

2. 见前面第一题第 2 小题答案。

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

网状二次渗碳体的最大重量百分量：

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

共析转变后合金中铁素体重量百分量：

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

珠光体组织重量百分量：

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

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

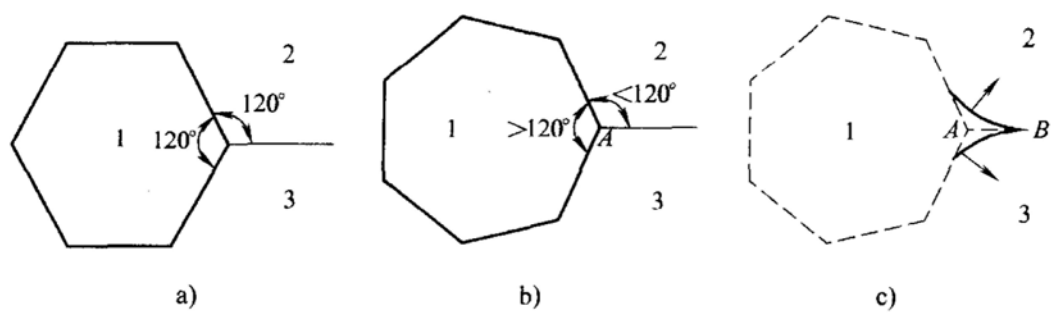


图 11-5 第十一题解答图