

西南交通大学

试 卷 四

2007 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料科学与工程

一、(每空 1 分, 共 30 分) 填空题

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

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

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

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

5. 金属经冷塑性变形后, 其强度和硬度 (23), 塑性和韧性 (24), 这种现象称为 (25) 强化或 (26); 对于经过预先冷塑性变形的金属, 在进一步冷塑性变形前应进行 (27) 退火, 以提高其 (28); 而对于冷加工成形的零构件, 成形后应及时进行 (29) 退火, 以去除 (30), 防止零构件在使用中产生变形或开裂。

二、(共 16 分) 画图题

1. (5 分) 根据 Fe-Fe₃C 相图, 铁碳合金中的渗碳体相可能存在有五种不同的形态, 按照形成温度由高到低, 依次是: 一次渗碳体, 共晶渗碳体, 二次渗碳

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

2. (5 分) 在立方晶胞内画出 $(1\bar{2}1)$ 、 $(\bar{1}22)$ 晶面, 以及 $[01\bar{2}]$ 、 $[110]$ 、 $[20\bar{1}]$ 晶向。

3. (6 分) 画出下列合金及其热处理后的室温组织:

- | | |
|----------------|-----------------|
| (1) 共析钢的平衡组织 | (2) 亚共晶白口铸铁 |
| (3) T12 钢的平衡组织 | (4) 20 钢的淬火组织 |
| (5) 粒状珠光体 | (6) 45 钢调质处理的组织 |

三、(共 20 分) 公式题

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

- | | |
|-------------------|------------|
| (1) Hall-Petch 公式 | (2) 晶界偏聚公式 |
|-------------------|------------|

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

四、(共 35 分) 简答题

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

2. (10 分) 何为上坡扩散? 形成上坡扩散的热力学条件是什么?

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

五、(共 49 分) 综合分析题

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

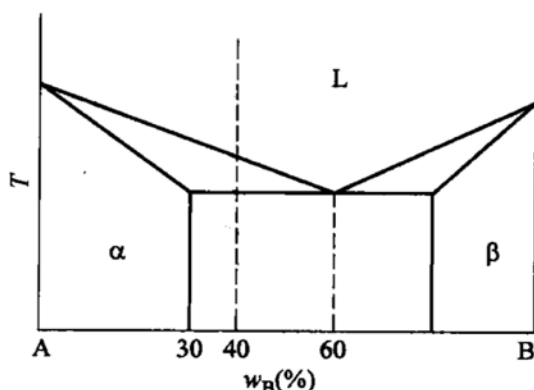


图 4-1 第五题第 1 小题图

(1) (10 分) 计算棒中单相 α 固溶体段占棒长的分数 x 。

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

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

(2) (5 分) 画出整根棒的组织示意图。

(3) (5 分) 画出该棒中 B 原子的浓度分布曲线。

2. (20 分) 根据 Fe-Fe₃C 相图, 完成下列工作:

(1) 画出 Fe-Fe₃C 相图 (可以忽略高温铁素体相变及包晶转变)。

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

(3) 示意画出高温液态到室温的组织转变过程图。

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

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

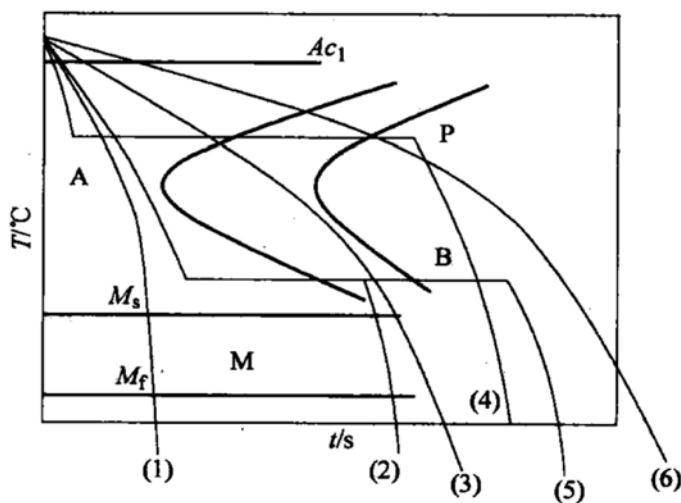


图 4-2 第五题第 3 小题图

标准答案

一、

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

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

剂, 搅拌或振动

3. (12) α ; (13) 间隙; (14) 更高; (15) 更低; (16) 固溶

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

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

二、

1. 如图 4-3 所示。

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

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

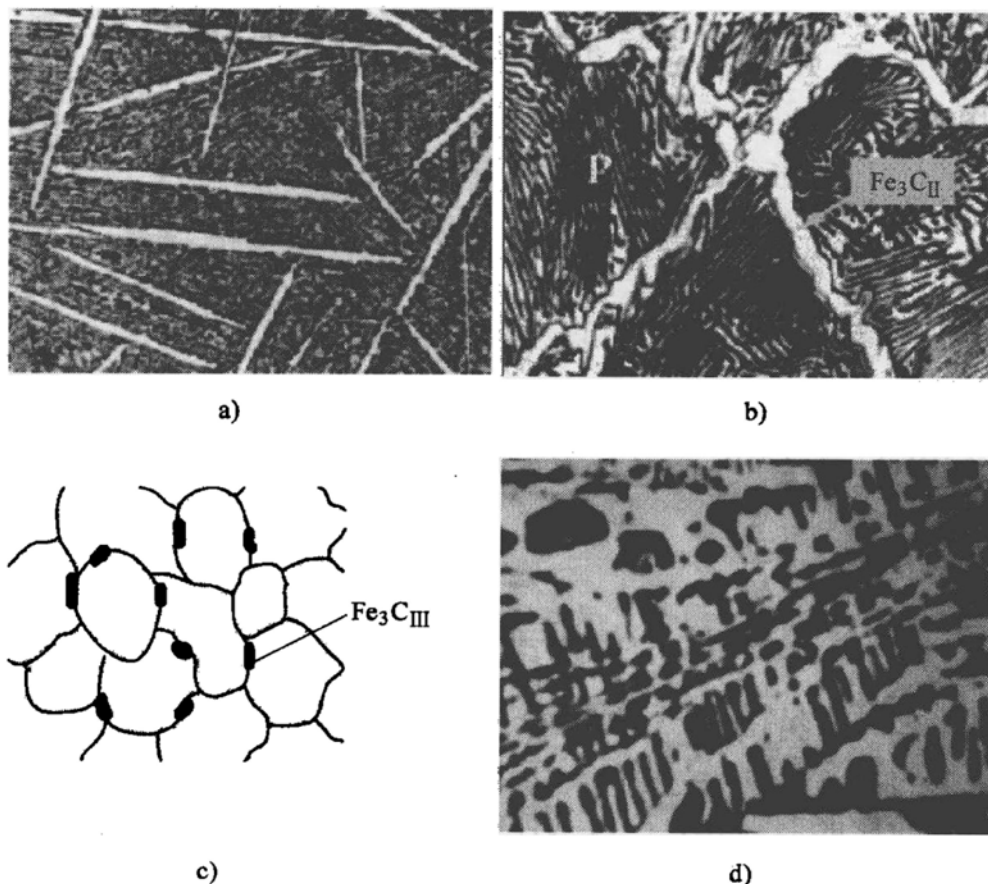


图 4-3 第二题第 1 小题解答图

a) 条状 $\text{Fe}_3\text{C}_\text{I}$ b) 网状 $\text{Fe}_3\text{C}_\text{II}$ 和 P 中的层状渗碳体
c) 铁素体晶界上的 $\text{Fe}_3\text{C}_\text{III}$ d) 共晶渗碳体 (白色区域)

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

珠光体中的渗碳体叫做共析渗碳体，呈现为层片状形态，如图 4-3b 所示。

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

2. 如图 4-4 所示。

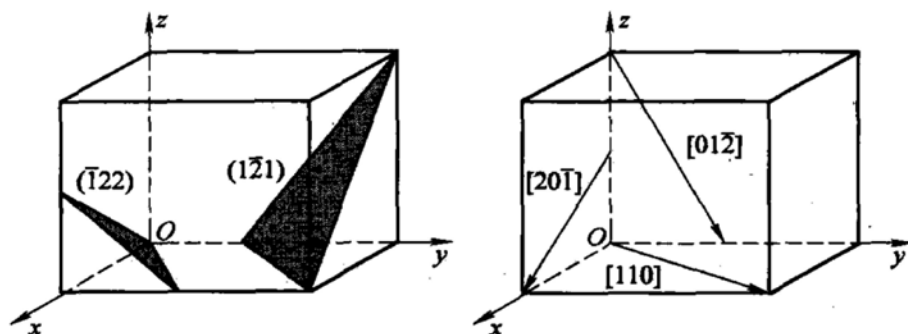


图 4-4 第二题第 2 小题解答图

3. 如图 4-5 所示。

三、

1.

(1) Hall-Petch 公式

表示屈服强度与晶粒尺寸之间的关系。

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

式中， σ_0 (MPa)、 K ($\text{MPa} \cdot \text{m}^{\frac{1}{2}}$) 为常数； d 为晶粒直径 (m)； σ_s 为屈服强度 (MPa)。

(2) 晶界偏聚公式

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

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

2. 晶胚为正方形，边长为 a ，则

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

当过冷液体中出现一个晶胚时，总的自由能变化 ΔG 应为

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

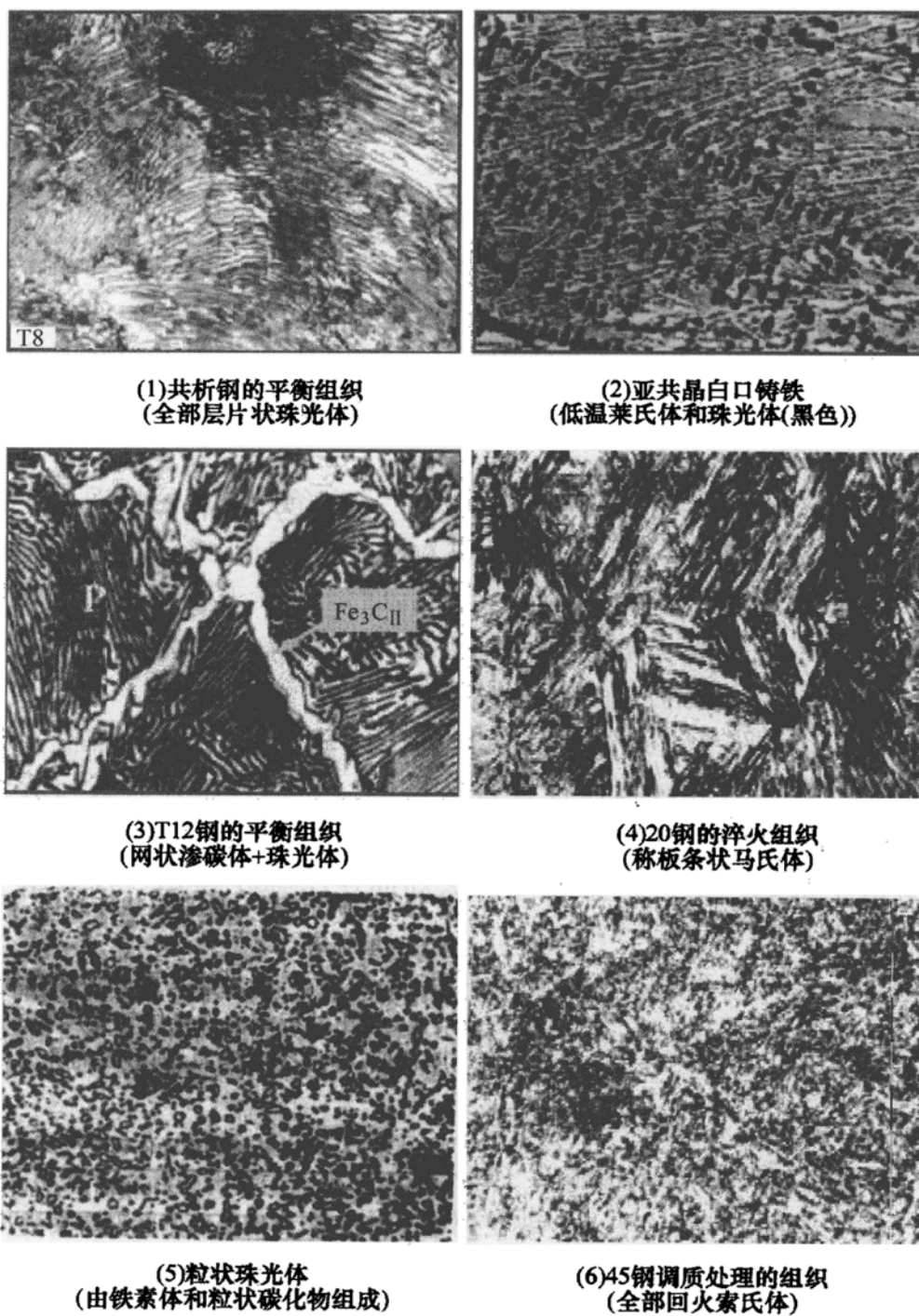


图 4-5 第二题第 3 小题解答图

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

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

令

可求得

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

将 a^* 代入式 (4-1) 可求得

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

四、

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

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

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

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

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

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

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

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

五、

1.

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

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

(2) 如图 4-6a 所示。

(3) 如图 4-6b 所示。

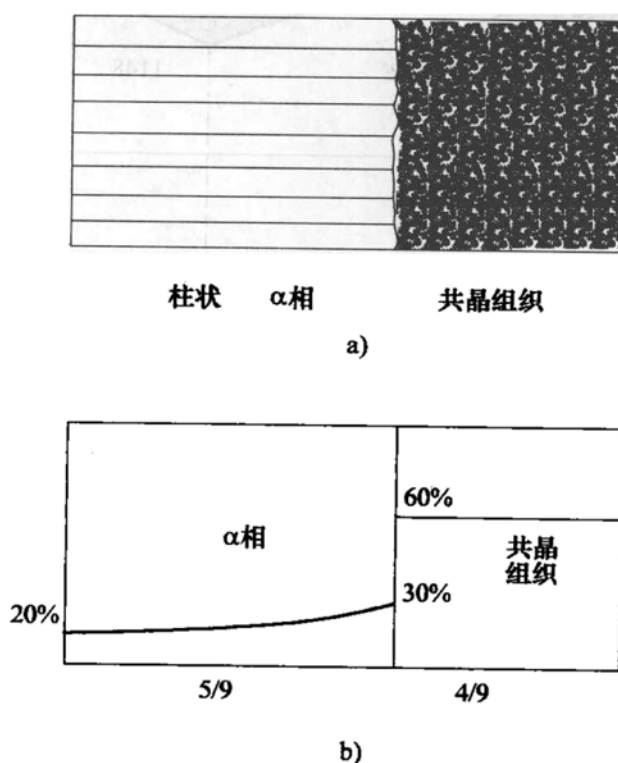


图 4-6 第五题第 1 小题解答图

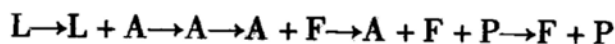
a) 棒的组织示意图 b) 棒中 B 原子的浓度分布曲线

2.

(1) 如图 4-7a 所示。

(2) 如图 4-7b 所示。

(3) 如图 4-7c 所示。



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

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

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

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

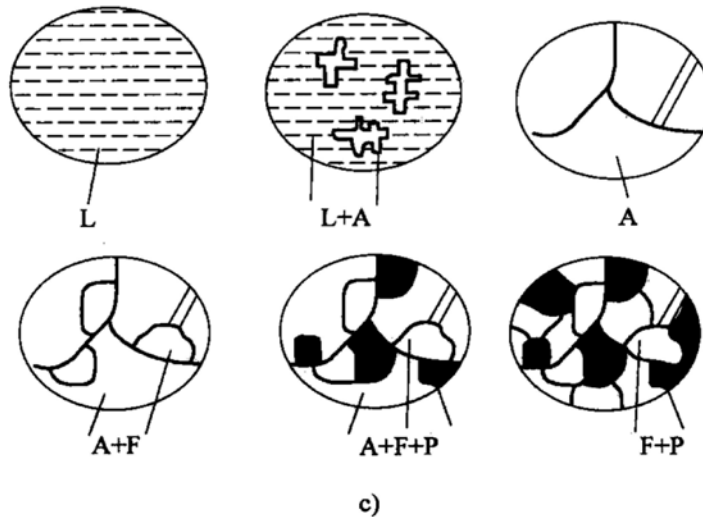
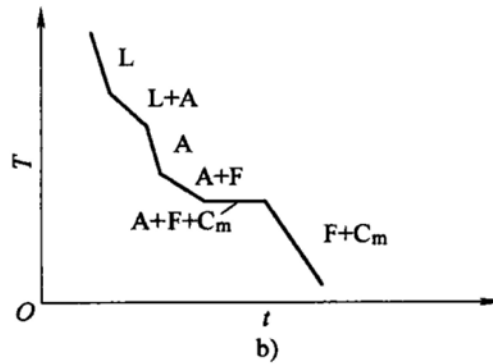
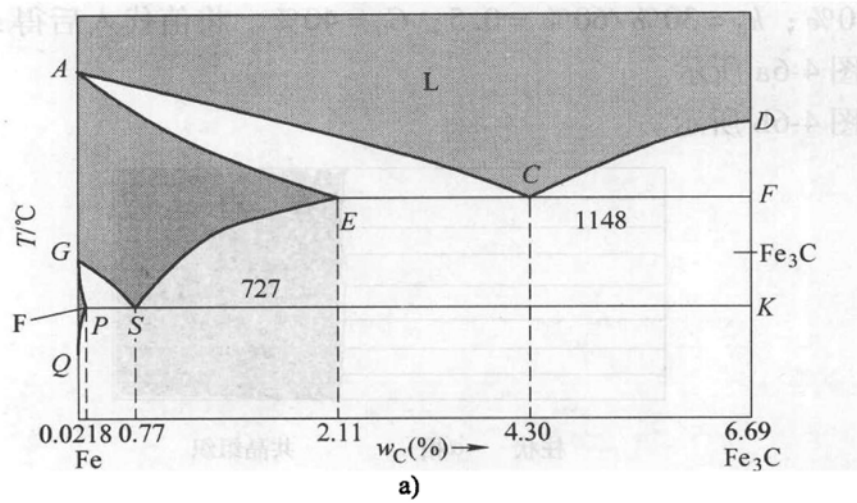


图 4-7 第五题第 2 小题解答图

a) Fe-Fe₃C 相图 b) 45 钢的平衡冷却曲线 c) 45 钢平衡冷却时的组织转变过程

3.

(1) 马氏体 + 残留奥氏体, M + A'。

- (2) 马氏体 + 下贝氏体 + 残留奥氏体, $M + B_{\text{下}} + A'$ 。
- (3) 索氏体 + 马氏体 + 残留奥氏体, $S + M + A'$ 。
- (4) 索氏体或珠光体, S 。
- (5) 下贝氏体, $B_{\text{下}}$ 。
- (6) 珠光体, P 。

试 卷 五

2008 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料科学与工程

一、(每小题 5 分, 共 25 分) 概念题

1. 弥散强化 (或沉淀强化)
2. 再结晶退火
3. 上坡扩散
4. 晶体
5. 一级相变

二、(共 18 分) 画图题

1. (9 分) 在立方晶胞内画出 $(1\bar{1}1)$ 、 $(\bar{1}22)$ 、 (110) 晶面, 以及 $[110]$ 、 $[010]$ 、 $[20\bar{1}]$ 晶向。
2. (每小题 1.5 分, 共 9 分) 画出下列合金及其热处理后的室温组织:
 - (1) 共析钢的平衡组织
 - (2) 共晶白口铸铁
 - (3) T12 钢完全奥氏体化后的淬火组织
 - (4) 45 钢的平衡组织
 - (5) 铝硅共晶组织
 - (6) 45 钢调质处理的组织

三、(共 30 分) 公式题

1. (每小题 5 分, 共 10 分) 给出下列各公式, 说明公式中各物理量的含义及单位:
 - (1) Hall-Petch 公式
 - (2) 一维形式的菲克第二定律
2. (10 分) 推导在液相中均匀形成半径为 r 的奥氏体球形晶核的临界形核功 ΔG^* 和临界尺寸 r^* 的表达式。
3. (10 分) 根据图 5-1 所示, 推导在 T_1 温度下成分为 X_0 的合金在 $\alpha + L$ 两相区时, 表示两相 α 和 L 的相对量 (重量) 的杠杆定律 (图中成分均为重量百分数)。

四、(共 45 分) 简答题

1. (15 分) 以低碳钢的拉伸曲线为例, 运用位错理论说明屈服现象及加工硬化现象。
2. (10 分) 请简单说明层错能高低对螺型位错交滑移的影响, 及其对金属加工硬化速率的影响。

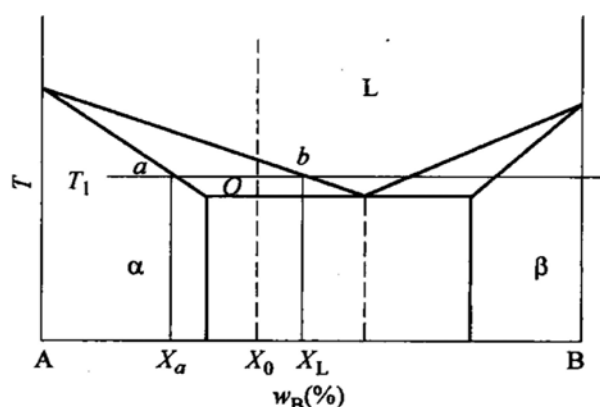


图 5-1 第三题第 3 小题图

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

4. (10 分) 说明马氏体相变的主要特征。

五、(共 32 分) 综合分析题

1. (20 分) 根据 Fe-Fe₃C 相图, 完成下列工作:

(1) 画出 Fe-Fe₃C 相图 (可以忽略高温铁素体相变及包晶转变)。

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

(3) 示意画出高温液态到室温的组织转变过程图。

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

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

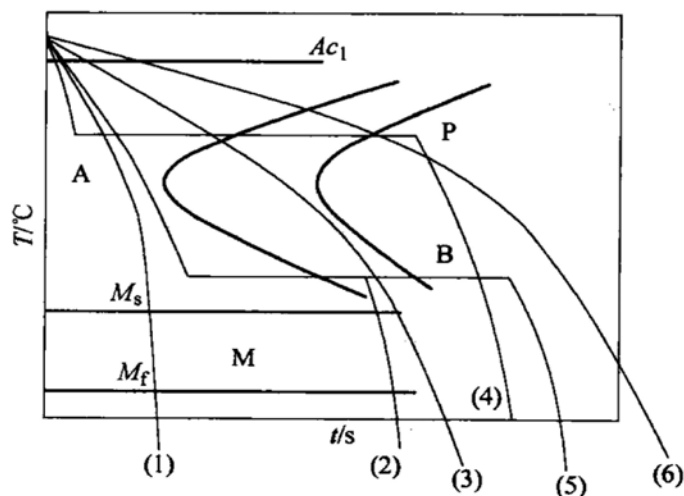


图 5-2 第五题第 2 小题图

标准答案

一、

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

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

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

4. 晶体: 原子、分子或离子按照一定的规律周期性排列组成的固体。

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

二、

1. 如图 5-3 所示。

2. 如图 5-4 所示。

三、

1.

(1) Hall-Petch 公式

表示屈服强度与晶粒尺寸之间的关系。

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

式中, σ_0 (MPa)、 K ($\text{MPa} \cdot \text{m}^{\frac{1}{2}}$) 为常数; d 为晶粒直径 (m), σ_s 为屈服强度 (MPa)。

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

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

2. 晶胚为球形, 半径为 r , 则

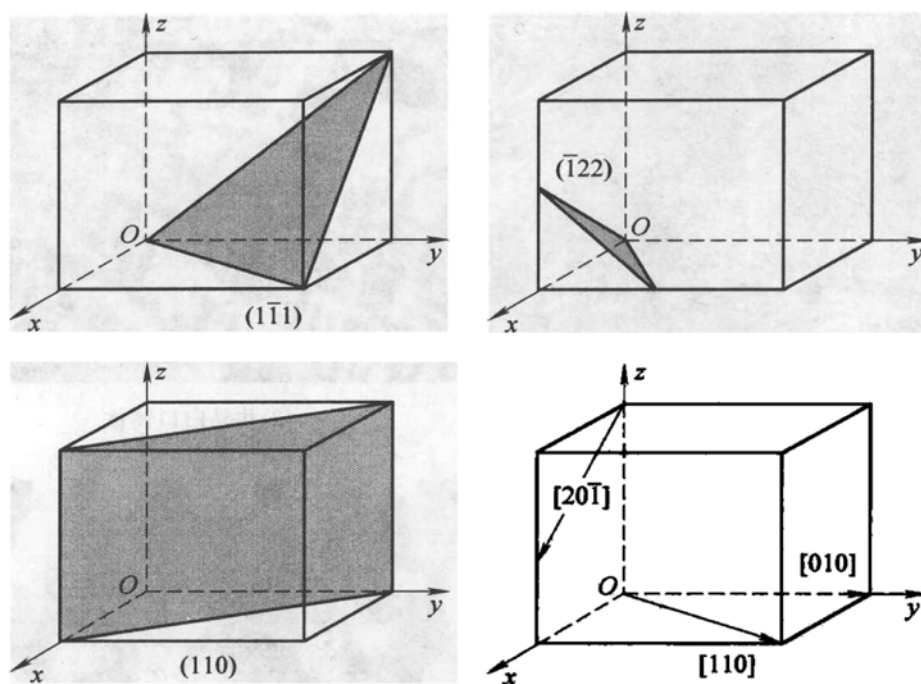


图 5-3 第二题第 1 小题解答图

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

当过冷液体中出现一个晶胚时, 总的自由能变化 ΔG 应为

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

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

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

将 r^* 代入式 (5-1) 可求得

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

3.

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

则有

$$w_a + w_L = w_0 = 1$$

因此

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

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

将式 (5-3) 代入式 (5-2) 中, 得到

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

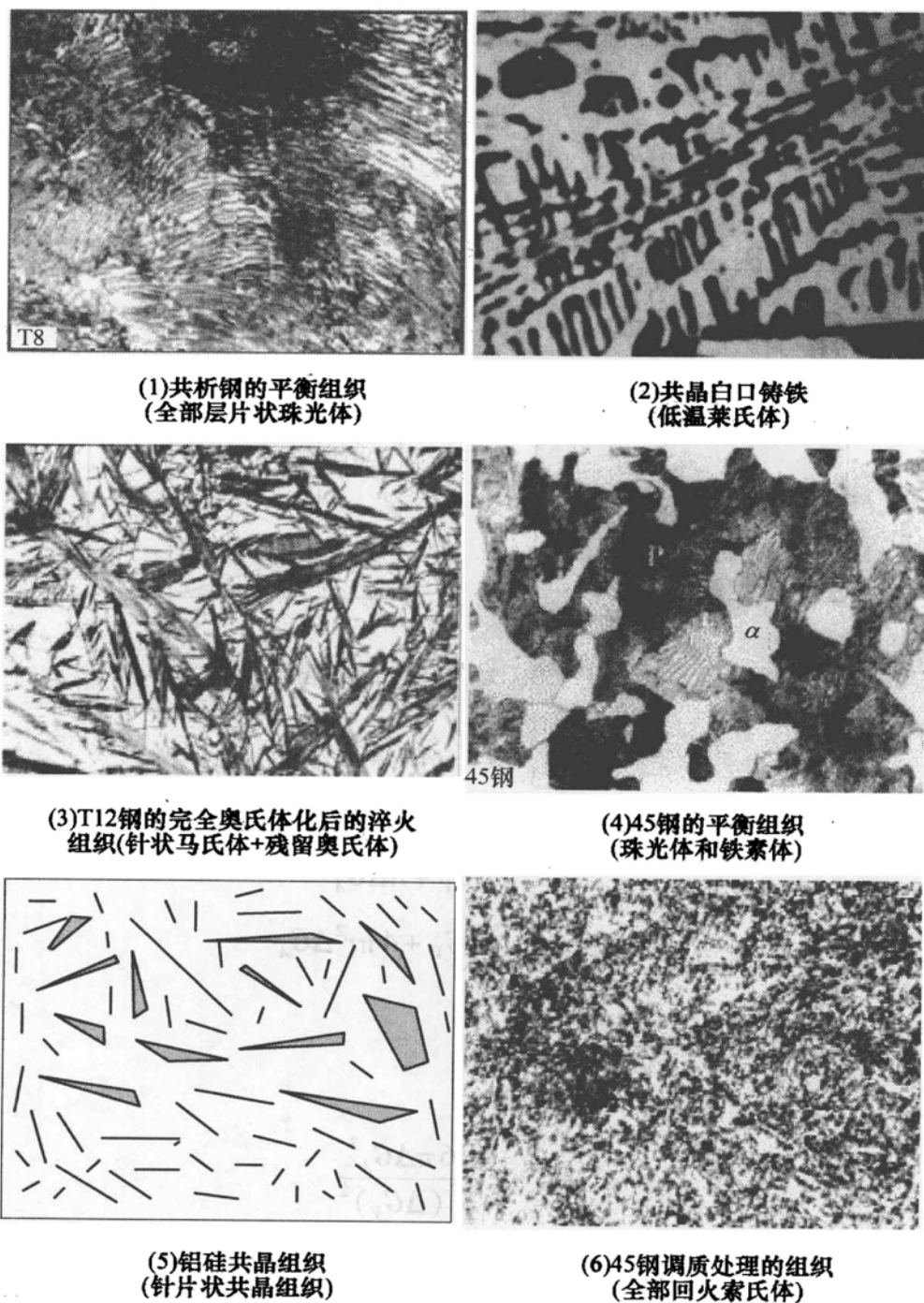


图 5-4 第二题第 2 小题解答图

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

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

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

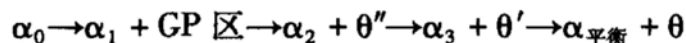
四、

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

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

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

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



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

4. 马氏体相变的基本特征表现为（主要为前两点）：

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

（2）切变性。具体体现为：

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

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

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

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

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

五、

1. (1) 如图 5-5a 所示。

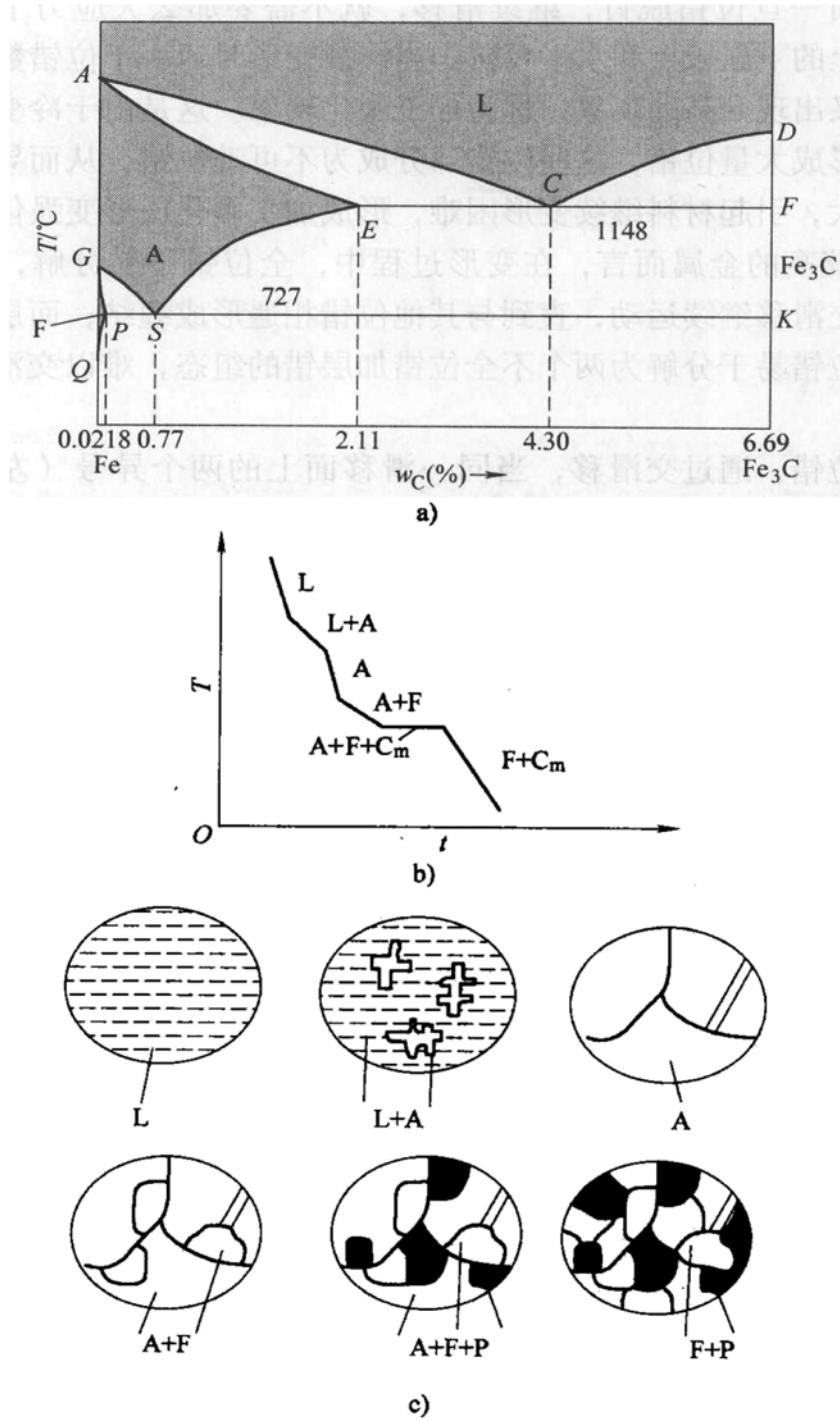
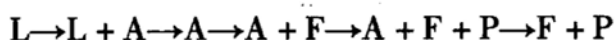


图 5-5 第五题第 1 小题解答图

a) Fe-Fe₃C 相图 b) 35 钢的平衡冷却曲线 c) 35 钢平衡冷却时的组织转变过程

(2) 如图 5-5b 所示。

(3) 如图 5-5c 所示。



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

(4) 室温下 35 钢的组织为：铁素体 F ($w_c = 0.0218\%$) + 珠光体 P ($F + \text{Fe}_3\text{C}$) ($w_c = 0.77\%$)。

根据杠杆定律计算可得

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

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

2.

(1) 马氏体 + 残留奥氏体， $M + A'$ 。

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

(3) 索氏体 + 马氏体 + 残留奥氏体， $S + M + A'$ 。

(4) 索氏体或珠光体，S。

(5) 下贝氏体， B_F 。

(6) 珠光体，P。

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

试 卷 六

2009 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料科学与工程

一、(每小题 3 分, 共 30 分) 概念题

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

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

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

三、(共 60 分) 简述题

1. (12 分) 画出下列各种组织:

- (1) 共析钢的平衡组织 (2) 灰口铸铁 (只抛光, 未腐蚀)
(3) T12 钢的平衡组织 (4) 45 钢的平衡组织
(5) T12 钢的淬火组织 (6) 45 钢调质处理的组织

2. (10 分) 根据位错运动和晶体滑移的相互关系, 分析纯螺型位错和纯刃型位错的柏氏矢量与位错线方向、位错线运动方向、晶体滑移方向的关系。

3. (6 分) 画出立方晶系的 $[100]$ 、 $[101]$ 晶向和 (111) 、 $(\bar{1}\bar{1}1)$ 晶面及六方晶系的 $[11\bar{2}0]$ 晶向、 (0001) 晶面。

4. (10 分) 推导从液相中均匀形核形成奥氏体的临界形核功的表达式。(假定奥氏体晶核为球体, 球的表面积 $= 4\pi r^2$, 球的体积 $= \frac{4}{3}\pi r^3$, r 为球的半径)

5. (8 分) 简述形变金属在加热时的回复和再结晶过程及其组织与性能的变化。

6. (6 分) 判断下列位错反应能否进行, 并说明理由:

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

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

7. (8分) 简述马氏体相变的基本特征。

四、(共45分) 综合分析题

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

2. (共20分) 根据 Fe-Fe₃C 相图, 回答下列问题:

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

(2) (5分) 示意画出组织转变过程图。

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

(4) (5分) 计算 50 钢室温下各组织的相对重量。

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

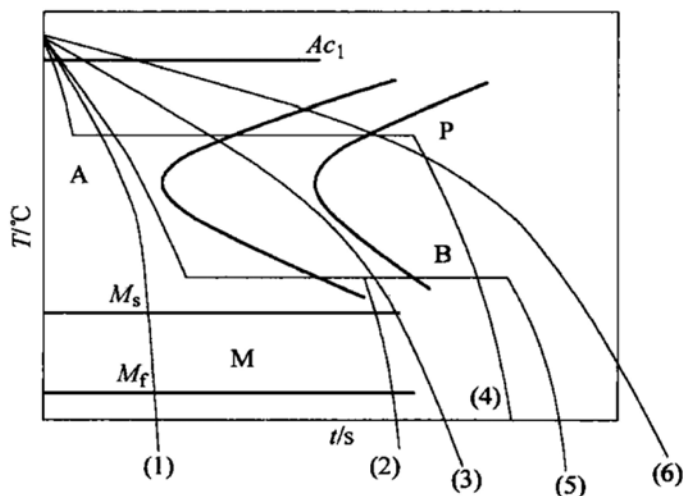


图 6-1 第四题第 3 小题图

标准答案

一、

1. 珠光体相变: Fe-C 合金奥氏体在冷却过程中, 在共析转变温度以下同时转变为铁素体和渗碳体的共析组织的相变。

2. 中间相: 两个纯组元形成与其结构不同的化合物, 其组成介于两个纯组

元之间的相。

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

4. 配位数：晶格中任一晶格结点原子周围最近邻的原子数目。

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

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

7. 上坡扩散：原子从低浓度向高浓度处的扩散，扩散的驱动力是化学位梯度。

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

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

10. 一级相变：相变前后新旧两相的自由焓相等，但其一阶偏导数不等的相变。

二、

1.

(1) Hall-Petch (霍尔-佩奇) 公式

表示屈服强度与晶粒尺寸之间的关系。

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

式中， σ_0 (MPa)、 K (MPa·m^{1/2}) 为常数； d 为晶粒直径 (m)； σ_s 为屈服强度 (MPa)。

(2) 晶界偏聚公式

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

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

(3) 菲克第二定律 (一维)

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

式中， C 为浓度 (g/cm³)； D 为扩散系数 (cm²/s)； t 为时间 (s)； x 为距离

(cm)。

三、

1. 如图 6-2 所示。

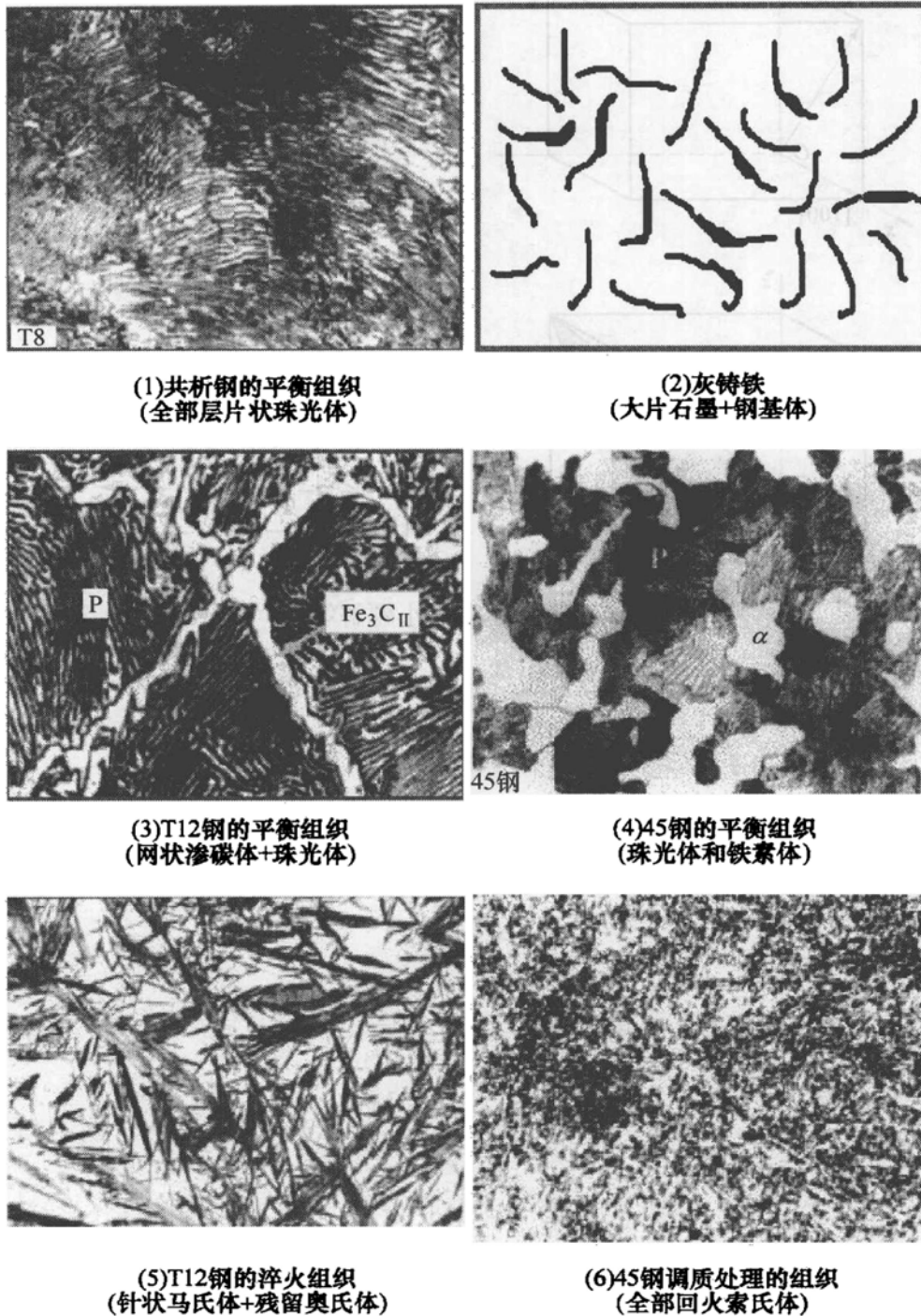


图 6-2 第三题第 1 小题解答图

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

向平行, 与晶体滑移方向平行。

3. 如图 6-3 所示。

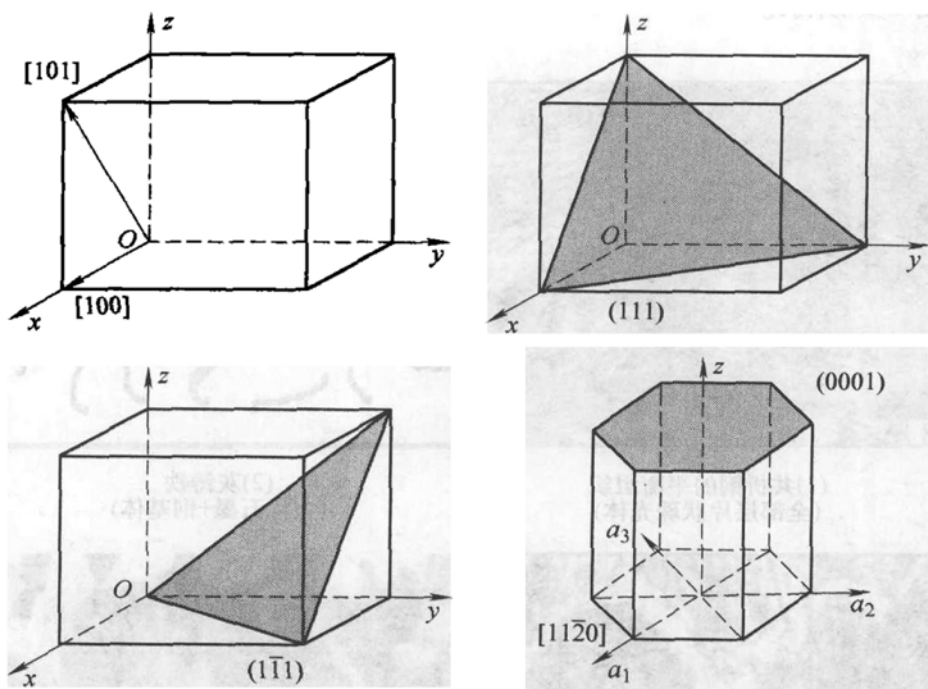


图 6-3 第三题第 3 小题解答图

4. 当过冷液体中出现一个晶胚时, 总的自由能变化 ΔG 应为

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

令 $\frac{d\Delta G}{dr} = 0$, 可求得

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

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

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

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

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

复到变形前的水平。

6.

(1) 反应前: $b_1^2 = a^2/2$

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

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

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

(2) 反应后: $b_1^2 = a^2/2$

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

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

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

7. 马氏体相变的基本特征表现为 (主要为前两点):

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

(2) 切变性, 具体体现为:

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

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

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

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

(3) 马氏体相变时伴随有点阵畸变。

(4) 马氏体转变存在开始温度 M_s 和终了温度 M_f (或 M_s)

四、

1. 要点:

(1) 形式: 固溶强化、加工硬化、细晶强化、弥散强化等。

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

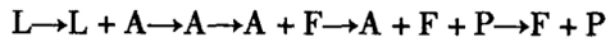
(3) 位错理论解释: 要从各种强化因素对位错运动的阻碍作用进行阐述,

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

2.

(1) 如图 6-4a 所示。

(2) 如图 6-4b 所示。



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

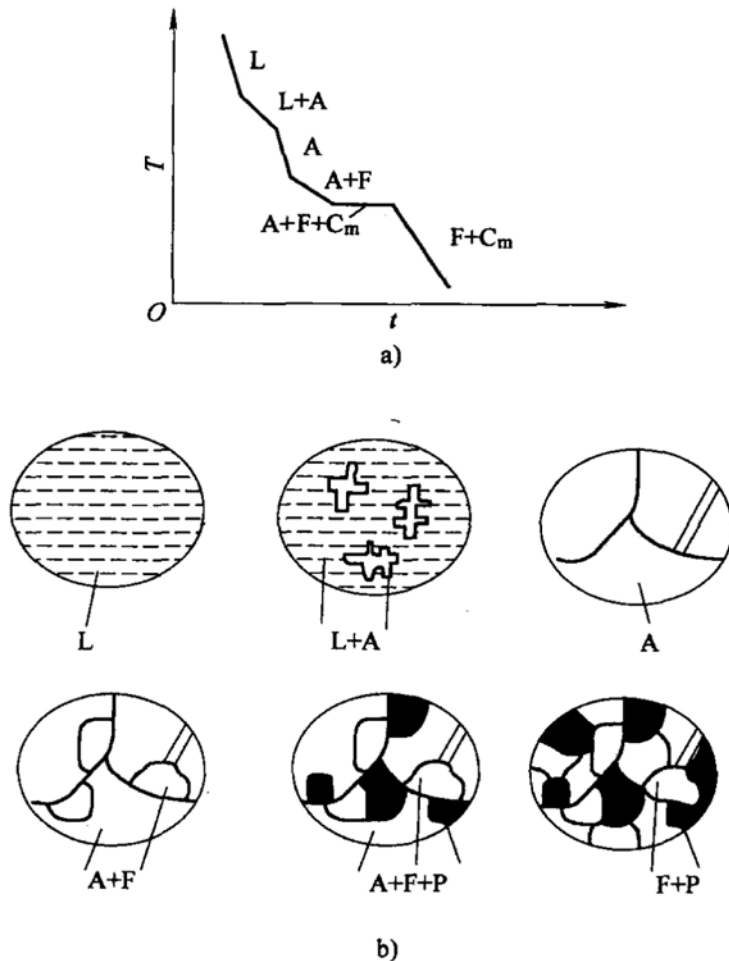


图 6-4 第四题第 2 小题解答图

a) 50 钢的平衡冷却曲线 b) 50 钢平衡冷却时的组织转变过程

(3) 珠光体: 含碳量 $w_c = 0.77\%$ 。

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

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

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

3.

(1) 马氏体 + 残留奥氏体, $M + A'$ 。

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

(3) 索氏体 + 马氏体 + 残留奥氏体, $S + M + A'$ 。

(4) 索氏体或珠光体, S 。

(5) 下贝氏体, B_F 。

(6) 珠光体, P 。