

西南交通大学 2003 年硕士研究生招生入学考试试题

一、简答题（每题 3 分，共 24 分）

1、贝氏体相变

钢在珠光体转变温度以下，马氏体转变温度以上范围内（550℃-230℃）的转变称为贝氏体转变。

2、中间相

两组元 A 和 B 组成合金时，除了形成以 A 为基或以 B 为基的固溶体外，还可能形成晶体结构与 A、B 两组元均不相同的新相。由于它们在二元相图上的位置总是位于中间，故通常把这些相称为中间相。

3、固溶强化

由于合金元素（杂质）的加入，导致的以金属为基体的合金的强度得到加强的现象。

4、配位数

晶体结构中任一原子周围最近邻且等距离的原子数。

5、扩展位错

通常指一个全位错分解为两个不全位错，中间夹着一个堆垛层错的整个位错形态。

6、共晶转变

由一个液相生成两个不同固相的转变。

7、上坡扩散

溶质原子从低浓度向高浓度处扩散的过程称为上坡扩散。表明扩散的驱动力是化学位梯度而非浓度梯度。

8、铝合金的时效

经淬火后的铝合金强度、硬度随时间延长而发生显著提高的现象称之为时效，也称铝合金的时效。

二、给出下列各公式，说明公式中各物理量的含义及单位。（每题 5 分，共 25 分）

(1) Hall-Petch 公式

(2) 位错线张力（或单位长度位错线弹性能）

(3) 史密特定律（单晶体塑性变形临界剪切应力与轴向正应力的关系）

(4) 晶界偏聚公式

(5) 菲克第二定律（一维）

解：(1) $\sigma_y = \sigma_i + Kd^{-\frac{1}{2}}$

σ_y : 合金的屈服强度

σ_i : 与材料有关常数

K: 与材料有关常数

d: 平均晶粒直径

(2) $T = \alpha Gb^2$

T: 线张力

G: 剪切模量

b: 轴向位移

α : 常数

$$(3) \quad \tau = \sigma \mu = \tau_c$$

τ_c : 临界分切应力

σ : 拉伸应力

μ : Schmid 因子

$$(4) \quad C = C_0 \exp\left(\frac{\Delta E}{RT}\right)$$

C_0 : 晶内溶质浓度

ΔE : 畸变能量

T: 温度 (K)

$$(5) \quad \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

$\frac{\partial C}{\partial t}$: 浓度对时间的偏导数

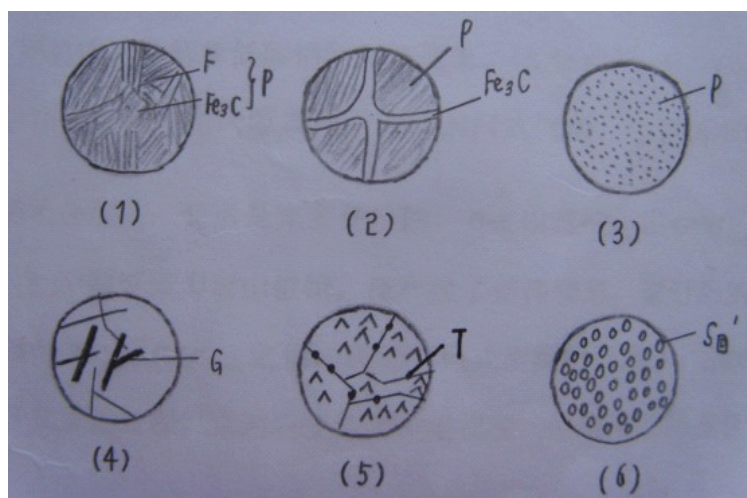
$\frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$: 浓度对距离的二阶偏导数

D: 扩散系数

三、简述题 (101 分)

1、画出下列各种组织: (6 分)

- (1) 共析钢的平衡组织
- (2) T12 钢的平衡组织
- (3) 粒状珠光体
- (4) 灰口铸铁
- (5) 45#钢的淬火组织
- (6) 45#调质处理的组织

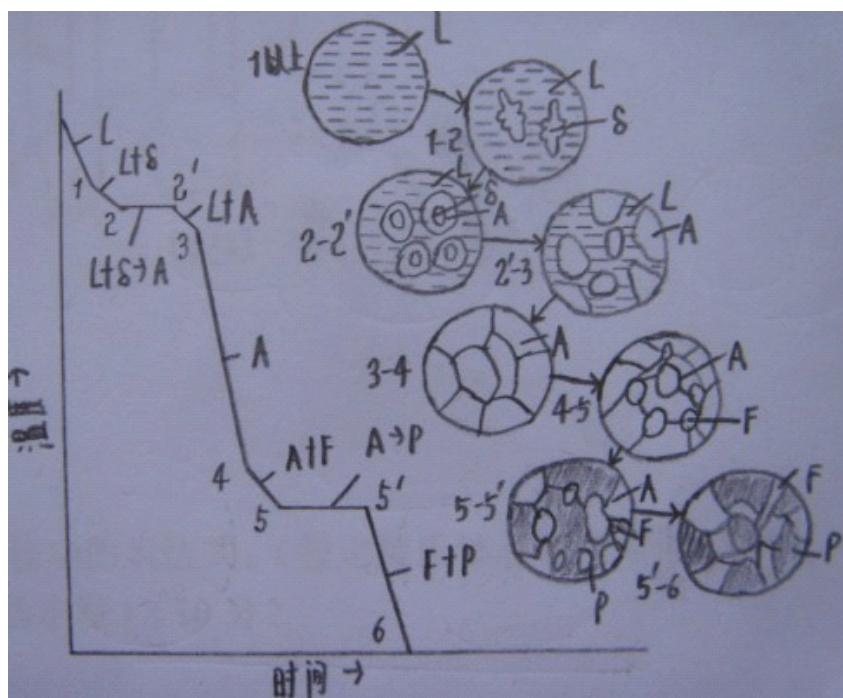
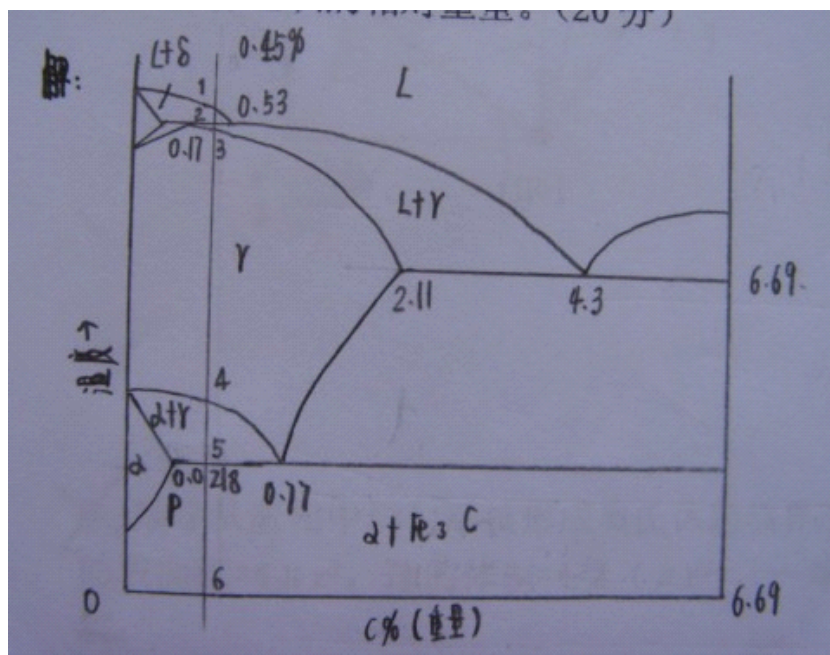


2、根据位错运动和晶体滑移的相互关系，分析纯螺型位错和纯刃型位错的柏氏矢量与位错线方向、位错线运动方向、晶体滑移方向的关系。（10 分）

答：对于纯螺型位错，柏氏矢量平行于位错线，位错线运动方向垂直于位错线本身，晶体滑移方向与 \mathbf{b} 一致。

对于纯刃型位错，柏氏矢量垂直于位错线，位错线运动方向垂直于位错线本身，晶体滑移方向与 \mathbf{b} 一致。

3、根据 Fe-Fe₃C 相图，画出 45#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），并示意画出组织转变过程图；说明 45#钢在室温下的平衡组织，给出其含碳量，并计算各组织的相对重量。（20 分）



平衡组织为 F+P, $F = \frac{(0.77-0.45) \times 10^{-2}}{0.77 \times 10^{-2} - 0.0218} = 0.416 = 41.6\%$, $P = 1 - 0.416 = 0.584 = 58.4\%$

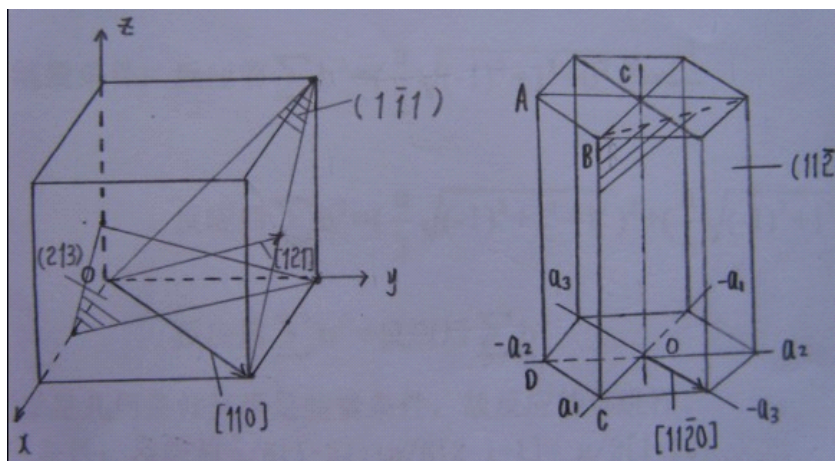
平衡相为 $\alpha\text{-Fe} + \text{Fe}_3\text{C}$, $\alpha\text{-Fe}$ 相对重量: $\frac{6.69-0.45}{6.69-0.0218} = 93.6\%$, Fe_3C 为 $1-93.6\% = 6.4\%$

其中 $\alpha\text{-Fe}$ 中 C 的含量为 0.0218%, Fe_3C 含量为 6.69%。

4、用位错理论解释低碳钢的屈服现象。(8 分)

答：由于金属中由间隙式原子形成的柯氏气团，将位错牢牢钉扎住，在拉应力小于 σ_{\max} ，位错不能起动，变形是完全弹性的， $\sigma\text{-}\varepsilon$ 成直线。当 $\sigma = \sigma_{\max}$ ，应力才足以使位错从柯氏气团钉扎中脱钉成为自由位错，便产生了塑性变形，脱钉后的位错在较低应力下便可以运动，屈服极限降至 $\sigma = \sigma_{\min}$ 之后，再遇到柯氏密度明显增大，运动中发生故应力又逐渐增大，气团重复上述过程，直到应变达到一定程度，位错交割相互作用。

5、画出立方晶系的 $[110]$ 、 $[121]$ 和 (213) 、 $(1\bar{1}1)$ 和六方晶系的 $[11\bar{2}0]$ 、 $(11\bar{2}0)$ 。(8 分)



6、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 $= 4/3 (\pi r^3)$ ， r —球的半径) (10 分)

解：

$$\Delta G = G_{\text{新相}} - G_{\text{旧相}} = \frac{4}{3}\pi r^3 \Delta G_v + 4\pi r^2 \cdot \sigma$$

$$\frac{\partial G}{\partial r} = 4\pi r^2 \Delta G_v + 8\pi r \sigma = 0$$

$$r^* = \frac{-8\pi r \sigma}{4\pi r \Delta G_v} = \frac{-2\sigma}{\Delta G_v}$$

$$\begin{aligned} \therefore G^* &= \frac{4}{3}\pi \frac{-8\sigma^3}{\Delta G_v^2} + 4\pi \frac{4\sigma^3}{\Delta G_v} \\ &= \frac{16\pi\sigma^3}{3\Delta G_v^2} \end{aligned}$$

7、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。(10分)

答：冷变形金属在较低温度下加热时发生回复过程，特点：

①回复过程中组织不发生变化，仍保持变形状态伸长的晶粒；

②回复过程使变形引起的宏观（一类）应力全部消除，微观（二类）应力大部消除。

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

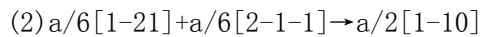
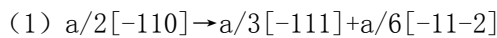
再结晶是冷变形金属加热时，继回复之后发生再结晶，连续加热时，低温下发生回复，超过一定温度，发生再结晶；一定温度下等温加热时，短时发生回复，长时间加热，也发生再结晶。特点：

①组织发生变化，由冷变形的伸长晶粒变为新的等轴晶粒。

②力学性能发生急剧变化，强度、硬度急剧降低，塑性提高，恢复至变形前状态。

③变形错能在再结晶过程中全部释放，点阵畸变（三类应力）消除，位错密度降低。

8、判断下列位错反应能否进行，并说明理由：(6分)



解：(1) 几何条件：反应后 $\frac{a}{3}[-111] + \frac{a}{6}[-11-2] = \frac{a}{2}[-110]$

$$\text{能量条件：反应前 } \sum b^2 = \left(\frac{a}{2}\sqrt{(-1)^2 + 1^2 + 0^2}\right)^2 = \frac{a^2}{2}$$

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

$$\text{反应前 } \sum b^2 = \text{反应后 } \sum b^2$$

此反应既满足几何条件又满足能量条件，故反应能够进行。

(2) 几何条件：反应前 $\frac{a}{6}[1-21] + \frac{a}{6}[2-1-1] = \frac{a}{2}[1-10]$

$$\text{能量条件：反应前 } \sum b^2 = \left(\frac{a}{6}\sqrt{1^2 + (-2)^2 + 1^2}\right)^2 + \left(\frac{a}{6}\sqrt{2^2 + (-1)^2 + (-1)^2}\right)^2 = \frac{a^2}{3}$$

$$\text{反应后 } \sum b^2 = \left(\frac{a}{2}\sqrt{1^2 + (-1)^2 + 0^2}\right)^2 = \frac{a^2}{2}$$

$$\text{反应前 } \sum b^2 < \text{反应后 } \sum b^2$$

此反应满足几何条件，但不满足能量条件故反应不能进行。

9、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。(10分)

答：材料的基本强化形式有固溶强化、形变强化(加工硬化)、细晶强化、第二相强化等。

(1) 固溶强化：由于合金元素（杂质）的加入，导致的以金属为基体的合金的强度得到加强的现象。在位错线附近存在溶质原子偏聚，位错的滑移受到约束和钉扎作用，塑性变形难度增加，金属材料的强度增加。

(2) 加工硬化：金属材料经过冷加工，即在室温附近使之产生的塑性变形后，其强度得到加强的现象。冷加工变形使金属材料内的原来近似等轴的晶粒被压挤成长形，位错数增加，导致位错滑移难度增加，提高了强度。

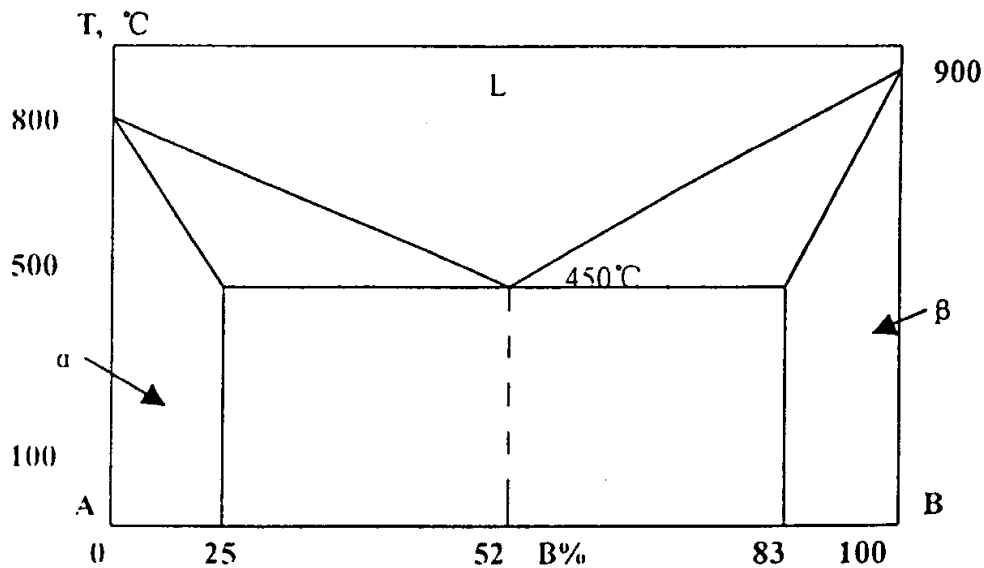
(3) 细晶强化：晶粒愈细小，晶界总长度愈长，对位错滑移的阻碍愈大，材料的屈服强度愈高。晶粒细化导致晶界的增加，位错的滑移受阻，因此提高了材料的强度。

(4) 弥散强化：许多材料由两相或多相构成，如果其中一相为细小的颗粒并弥散分布在材料内，则这种材料的强度往往会增加，称为弥散强化。其作用在于颗粒对位错运动的阻碍和钉扎。如果弥散的颗粒相有较高的强度和硬度，位错运动时不能切过颗粒，则位错线会在两颗粒间弓出，在颗粒周围形成位错环，这需要较大的应力，从而提高了材料的强度。

10、A-B 二元合金相图如下图所示，今有一合金含 B 量为 35%，试回答：若上述成分的合金棒在固相中无扩散、液相中溶质完全混合、液-固界面平面推进的条件下进行不平衡凝固，请计算凝固结束后共晶体在合金棒中所占的体积百分数。并画出合金棒中溶质 B 的分布曲线示意图和显微组织分布示意图。

若完全按照平衡凝固，则上述合金中室温时的组织分布示意图及各组织的相对量各为多少？

(13 分)



附： $C_L = C_0(1-x)^{k_0-1}$

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

$X=Z/L$ 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， $k_0=C_S/C_L$ 。

解：(1) $k_0 = \frac{C_S}{C_L} = \frac{25}{52}$

$C_0 = 35\% \quad C_S = 25\%$

$\therefore \frac{C_S}{k_0 C_0} = (1-x)^{k_0-1}$

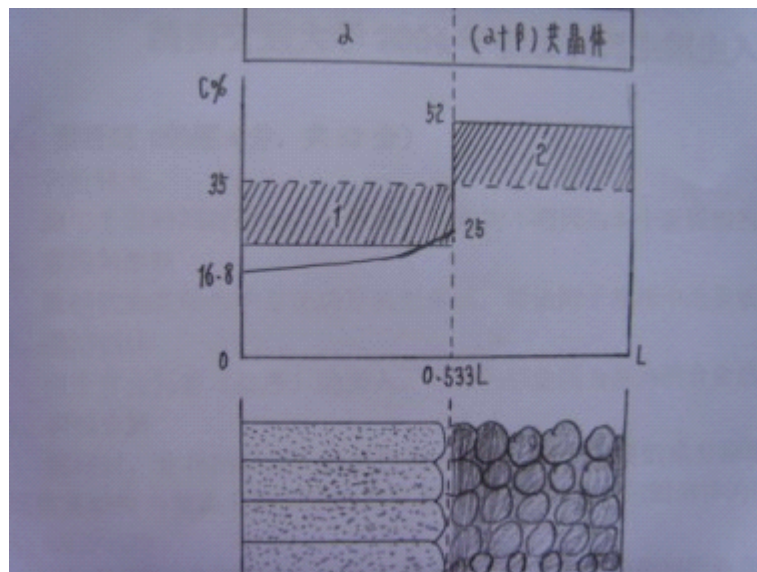
$$\therefore x = 1 - \left(\frac{C_s}{k_0 C_0} \right)^{\frac{1}{k_0 - 1}} = 1 - \left(\frac{25\%}{\frac{25}{52} \times 35\%} \right)^{\frac{1}{\frac{25}{52} - 1}} = 1 - \left(\frac{52}{35} \right)^{-\frac{52}{27}} = 1 - 0.467 = 0.533$$

\therefore 共晶体 ($\alpha + \beta$) 在合金棒中所占的体积百分比为 $1 - 0.533 = 0.467$

(2) $Z=0$ 处, $C_s = k_0 C_0 = 0.168 = 16.8\%$

$Z=0.533L$ 处, $C_s = 25\%$, 此时 $C_L = 52\%$, 它结晶为平均成分为 52% 的 ($\alpha + \beta$) 共晶体。

(3)



(4) 若完全按照平衡凝固, 则二相的相对量:

$$Q_\alpha = \frac{C_L - C_0}{C_L - C_s} = \frac{17}{27}$$

\therefore 共晶体在合金棒中所占的体积百分比为 $1 - Q_\alpha = \frac{10}{27}$ 。

