

## 西南交通大学 2002 年硕士研究生招生入学考试试题

### 一、简答题（每题 2.5 分，共 20 分）

#### 1、马氏体相变

钢中加热至奥氏体后快速淬火所形成的高硬度的针片状组织的相变过程。

#### 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、形变强化

金属经冷塑性变形后，其强度和硬度上升，塑性和韧性下降，这种现象称为形变强化。

#### 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、不全位错

柏氏矢量不等于点阵矢量整数倍的位错称为不全位错。

#### 6、包晶转变

在一定温度下，由一定成分的液相与一定成分的固相互相作用，生成另一个一定成分的新固相的过程。

#### 7、共析转变

由一个固相同时析出成分和晶体结构均不相同的两个新固相的过程称为共析转变。

#### 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 4 分，共 20 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) 空位平衡浓度公式

(5) 菲克第一定律（一维）

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

$\sigma_y$ : 合金的屈服强度

$\sigma_i$ : 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 (N)

G: 剪切模量

b: 轴向位移

$\alpha$  : 常数

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

$\tau_c$ : 临界分切应力

$\sigma$  : 拉伸应力

$\mu$  : Schmid 因子

$$(4) C_v = \exp\left(-\frac{\Delta G_v}{RT}\right)$$

$\Delta G_v = \Delta H_v - T \Delta S_v$  : 1mol 空位的生成自由能

$\Delta H_v$ : 1mol 空位的生成焓

$\Delta S_v$ : 1mol 空位的熵增

R: 气体常数

T: 温度

$$(5) J = -D \frac{dC}{dx}$$

J-扩散通量

单位:  $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$

D-扩散系数

单位:  $\text{m}^2/\text{s}$

C-扩散物质的质量浓度

单位:  $\text{kg}/\text{m}^3$

x-距离

单位: m

### 三、简述题 (60 分)

1、画出下列各种组织: (6 分)

(1) Fe-0.77wt%C 合金的平衡组织

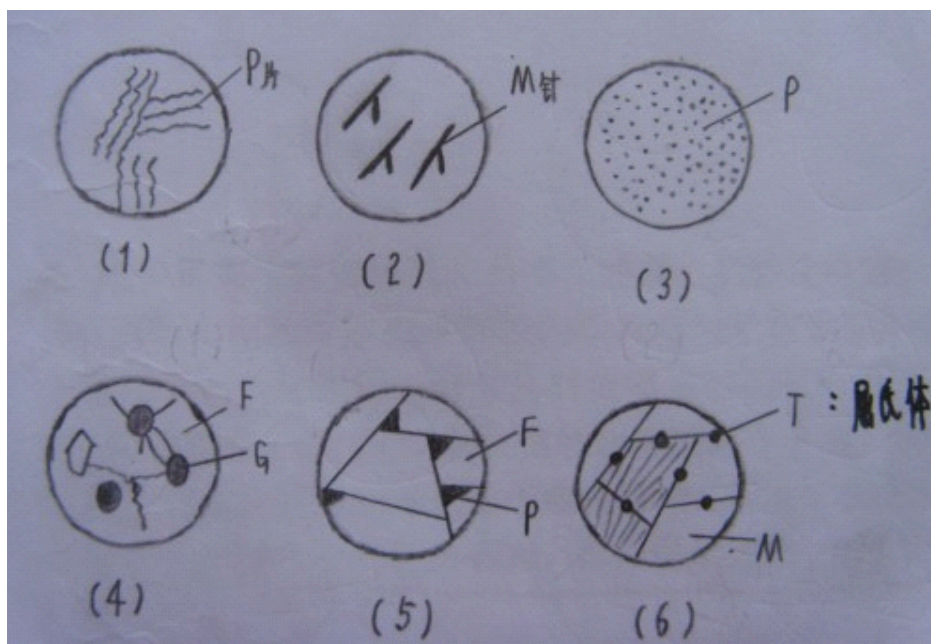
(2) T12 钢的淬火组织

(3) 粒状珠光体

(4) 球磨铸铁

(5) 20#钢的平衡组织

(6) 晶界屈氏体+马氏体

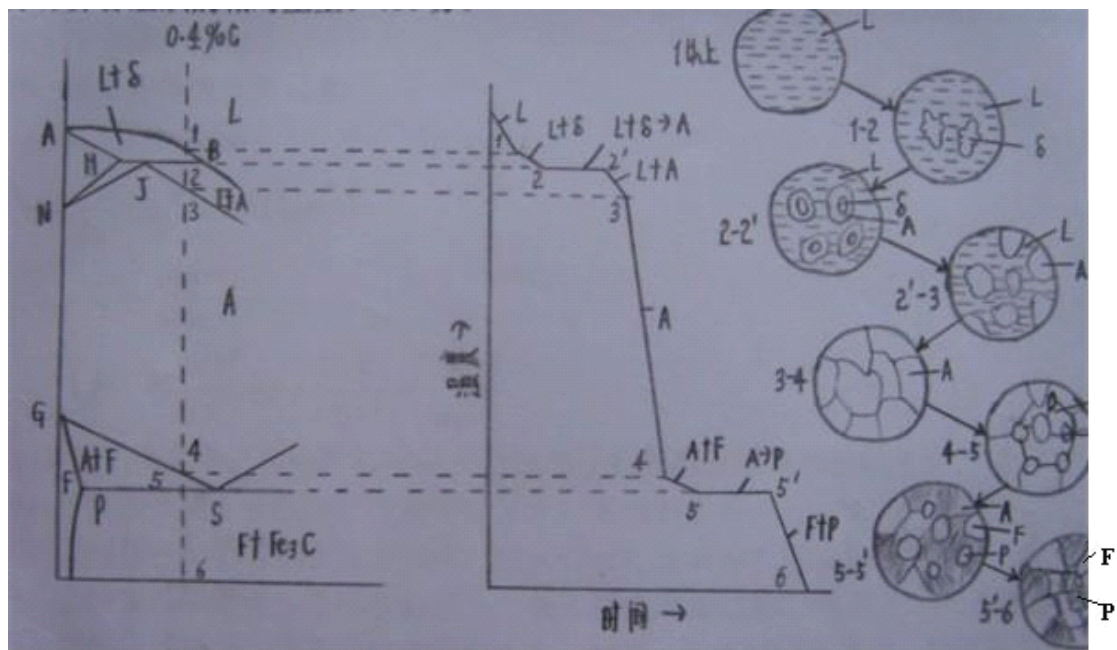


2、根据位错运动和晶体滑移的相互关系，分析纯螺型位错和纯刃型位错的位错线方向与柏氏矢量、位错线运动方向、晶体滑移方向的关系。（8分）

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 **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 **b** 一致。

3、根据 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图，画出 40#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 40#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。（10分）



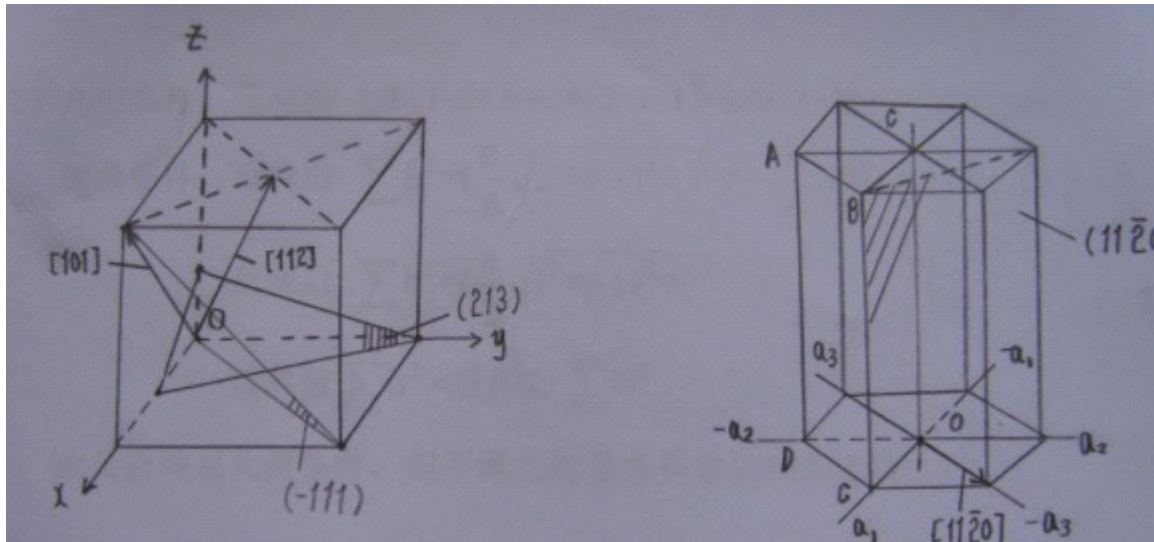
平衡组织为 F+P,  $F = \frac{0.77 - 0.4}{0.77 - 0.0218} = 48.05\%$ ,  $P = 1 - 48.05\% = 51.95\%$

平衡相为  $\alpha$ -Fe+Fe<sub>3</sub>C，其中  $\alpha$ -Fe 中 C 的含量为 0.0218%，Fe<sub>3</sub>C 含量为 6.69%。

4、用位错理论解释弥散分布第二相质点的强化机理。（5分）

答：当第二相粒子以细小弥散的微粒均匀分布于基体相中时，将会产生显著的强化作用。第二相粒子的强化作用是通过其对位错运动的阻碍作用而表现出来的。当运动位错与其相遇时，将受到粒子的阻挡，使位错线绕着它发生弯曲，并随着外加应力的增大最终形成位错环，而位错的其余部分则越过粒子继续移动，位错按这种方式移动时受到的阻力是很大的。机械混掺于基体材料中的硬质颗粒，都会引起强化，由于弥散相周围形成很强的应力场，阻碍了位错的滑移。

5、画出立方体晶系的[101]、[112]和(213)、(-111)和六方晶系的[11-20]、(11-20)。（4分）



6、推导亚共晶白口铁从液相中均匀形核形成奥氏体的临界形核功的表达式。(假定奥氏体晶核为立方体)(6分)

解：设立方体边长为  $a$ , 则

$$\Delta G = a^3 \Delta G_v + 6a^2 \sigma$$

$$\text{则 } \frac{\partial \Delta G}{\partial a} = 3a^2 \Delta G_v + 12a\sigma = 0$$

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

$$\therefore \Delta G^* = \frac{-64\sigma^3}{\Delta G_v^2} + 6 \times \frac{16\sigma^3}{\Delta G_v^2} = \frac{32\sigma^3}{\Delta G_v^2}$$

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。(5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：(4分)

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

$$(2) \frac{a}{6}[1-21] + \frac{a}{6}[2-1-1] \rightarrow \frac{a}{2}[1-10]$$

解：(1) 几何条件：反应后  $\frac{a}{3}[1-11] + \frac{a}{6}[1-1-2] = \frac{a}{6}[3-30] = \frac{a}{2}[1-10]$

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

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

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

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  $a/6[1-21] + a/6[2-1-1] = a/6[3-30] = a/2[1-10]$

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

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

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

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、说明材料的基本强化形式有哪几种，并用位错理论解释其中三种的强化机制。(6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。

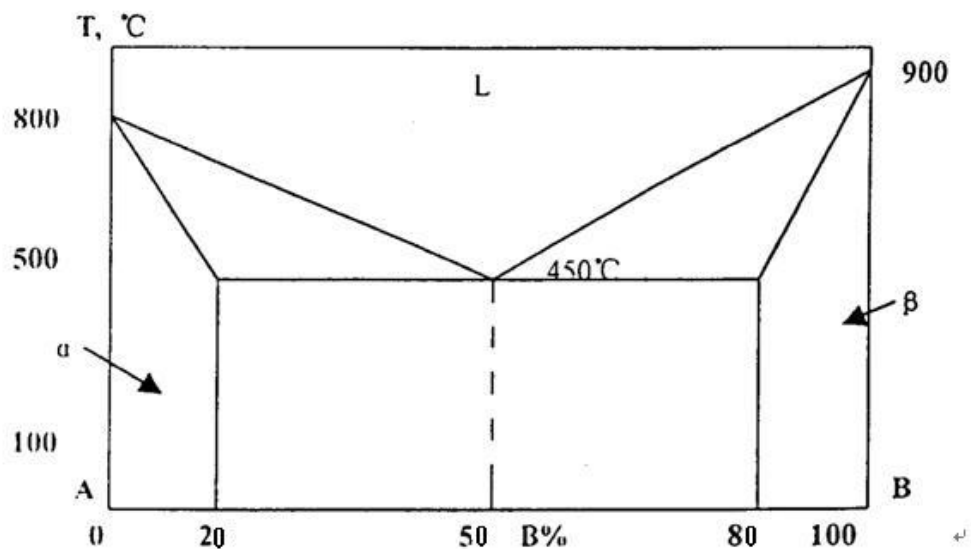
(3) 细晶强化：晶粒愈细小，晶界总长度愈长，对位错滑移的阻碍愈大，材料的屈服强度愈高。晶粒细化导致晶界的增加，位错的滑移受阻，因此提高了材料的强度。

(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 30%，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？

(6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)  $k_0 = \frac{C_S}{C_L} = \frac{2}{5}$

$$C_0 = 30\% \quad C_S = 20\%$$

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

$$\therefore x = 1 - \left( \frac{C_S}{k_0 C_0} \right)^{\frac{1}{k_0-1}} = 1 - \frac{1}{\left( \frac{20\%}{\left( \frac{2}{5} \times 30\% \right)} \right)^{\frac{5}{3}}} = 1 - \left( \frac{5}{3} \right)^{-\frac{5}{3}} = 0.573 = 57.3\%$$

$\therefore$  共晶体在合金棒中所占的体积百分比为  $1-0.573=0.427=42.7\%$

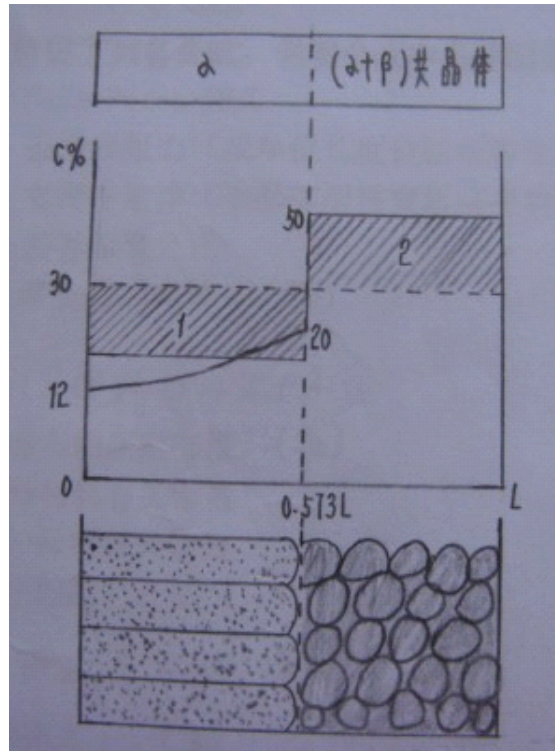
(2)  $Z=0$  处,  $C_S = k_0 C_0 = 12\%$ ,

$$Z=0.573L \text{ 处, } C_S = 20\%, \quad C_L = 50\%,$$

棒左端为单相  $\alpha$  固溶体, 右端为  $(\alpha + \beta)$  共晶体。

(3)





(4) 若完全按照平衡凝固，则二相的相对量：

$$Q_{\alpha} = \frac{C_L - C_0}{C_L - C_S} = \frac{20}{30} = \frac{2}{3}$$

∴ 共晶体在合金棒中所占的体积百分比为  $1 - \frac{2}{3} = \frac{1}{3}$ 。

