

一、回答下列问题（每小题 5 分，共 30 分）

1、分别写出三元系中共晶型、包共晶型及包晶型的四相反应式。

答：共晶型： $L \rightarrow \alpha + \beta + \gamma$

包共晶型： $L + \alpha \rightarrow \beta + \gamma$

包晶型： $L + \alpha + \beta \rightarrow \gamma$

2、解释正偏析与负偏析

答：当溶质的分配系数  $k_0 < 1$  的合金凝固时，部分溶质被排挤到凝固界面附近的液相中，以后再凝固出的固相中溶质浓度就随之升高，这种偏析常称正偏析。

$k_0 < 1$  的合金凝固时，

在凝固过程中外层的一定范围内溶质浓度由外向内逐步降低，称为负偏析。

3、写出菲克第一定律的数学表达式，并注明表达式中各参量的含义及单位。

答： $J = -D \frac{\partial C}{\partial x}$

$J$  为扩散通量，单位为  $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  或原子数/ $(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ， $D$  为扩散系数，单位  $\text{m}^2/\text{s}$

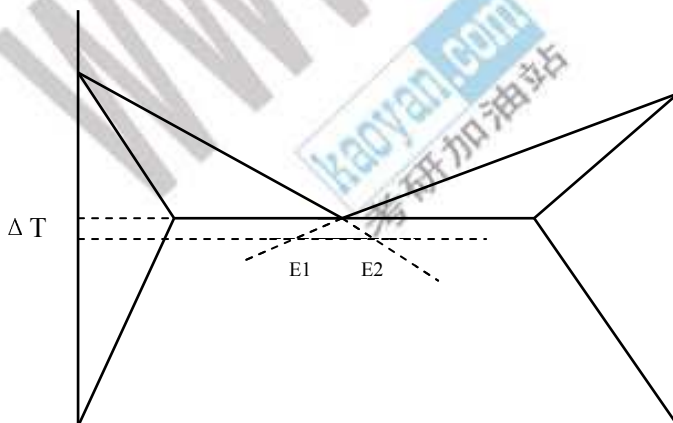
$C$  扩散组元的体积浓度，单位  $\text{kg}/\text{m}^3$  或原子数/ $\text{m}^3$ ， $\frac{\partial C}{\partial x}$  为浓度梯度，负号表示扩散方向与浓度梯度方向相反。

4、为何金属材料热加工后机械性能比铸造状态的好？

答：金属材料热加工中经历了动态变形和动态回复与再结晶，柱状晶和粗大的等轴晶消失，代之以细小的等轴晶，分散的缩孔、微裂纹被焊合，偏析由于压缩和扩散后也减轻，使得材料的致密度和机械性能特别是塑性和韧性提高。

5、什么是伪共晶？图示出在一定过冷度下形成伪共晶的成分范围。

答：非共晶成分的合金在非平衡结晶条件下得到的共晶组织称为伪共晶。图中在  $\Delta T$  过冷度下伪共晶的成分范围是  $E1 \sim E2$  之间。



6、晶界从结构上可分为哪几种类型？晶界结构的普遍特点是什么？

答：按结构看，晶界可分为小角晶界和大角晶界。晶界结构的普遍特点是原子排列比晶内混乱的多，特别是大角晶界上原子排列更加混乱。

二、什么是二次再结晶？二次再结晶发生的条件是什么？二次再结晶后织构会不会发生变化？（18分）

答：二次再结晶是一次再结晶完成的基础上，少数晶粒的异常长大现象。此时晶粒尺寸分布出现双峰现象。

二次再结晶发生的条件一般是一般晶粒生长受阻，如粒子钉扎、织构钉扎或厚度效应。当钉扎作用不均匀消失时，个别晶粒先摆脱钉扎而充分生长。

对于弥散相抑制晶粒长大，一般不会产生二次织构；对于织构抑制晶粒长大，有时，有时会产生二次织构，有时不会产生二次织构；对于厚度抑制晶粒正常长大，会产生二次织构。

三、 $\gamma$ -Fe 在略高于  $910^\circ\text{C}$  时点阵常数  $a=0.3633\text{nm}$ ， $\alpha$ -Fe 在略低于  $910^\circ\text{C}$  时点阵常数  $a=0.2892\text{nm}$ ，求：

- (1) 上述温度时  $\gamma$ -Fe 和  $\alpha$ -Fe 的原子半径；（6分）
- (2)  $\gamma$ -Fe 转变为  $\alpha$ -Fe 时的体积变化率；（7分）
- (3) 假定  $\gamma$ -Fe 转变为  $\alpha$ -Fe 时原子半径不发生变化，求转变时的体积变化率，与（2）的结果相比较并加以说明。（7分）

答：

$$(1) \text{ 对 FCC 结构的 } \gamma\text{-Fe: } \sqrt{2}a = 4R, R = \frac{\sqrt{2}}{4}a = \frac{\sqrt{2}}{4} \times 0.3633 = 0.1284 \text{ nm}$$

$$\text{对 BCC 结构的 } \alpha\text{-Fe: } \sqrt{3}a = 4R, R = \frac{\sqrt{3}}{4}a = \frac{\sqrt{3}}{4} \times 0.2892 = 0.1251 \text{ nm}$$

$$(2) \Delta V_{\gamma \rightarrow \alpha} \% = (0.2892^3/2 - 0.3633^3/4) / 0.3633^3/4 = 0.87\%$$

(3) 假定  $\gamma$ -Fe 转变为  $\alpha$ -Fe 时原子半径不发生变化

$$\text{由 } a_{\text{fcc}} = \frac{4}{\sqrt{2}}R \text{ 可得, } V_{\text{fcc 单包}} = a_{\text{fcc}}^3 = \frac{64}{2\sqrt{2}}R^3$$

$$\text{由 } a_{\text{bcc}} = \frac{4}{\sqrt{3}}R \text{ 可得, } V_{\text{bcc 单包}} = a_{\text{bcc}}^3 = \frac{64}{3\sqrt{3}}R^3$$

$$\text{由此可计算出: } \Delta V_{\gamma \rightarrow \alpha} \% = 9\%$$

比较上述结果可知，在发生  $\gamma$ -Fe 转变为  $\alpha$ -Fe 时，配位数和致密度的减少将和原子半径的收缩同时产生，以减少晶体体积的变化。

四、根据位错反应必须满足的条件，试判断下列位错反应在面心立方晶体中能否进行，并确定无外力作用时的反应方向：（12分）

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

$$(2) \frac{a}{3}[112] + \frac{a}{2}[111] \rightarrow \frac{a}{6}[11\bar{1}]$$

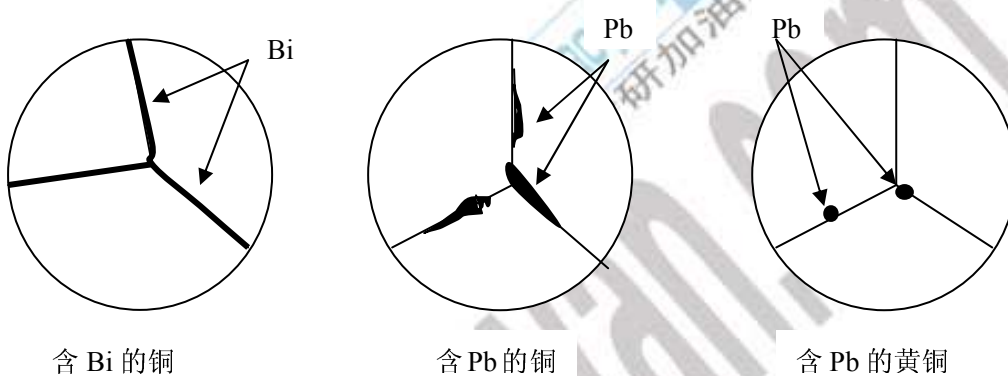
$$(3) \frac{a}{6}[112] + \frac{a}{6}[110] \neq \frac{a}{3}[11\bar{1}]$$

答：(1) 此反应符合矢量条件，以  $b^2$  作为能量的近似值，反应式左边能量大于右边，所以无外力时反应可正向进行；

(2) 此反应不符合矢量条件，所以不能进行；

(3) 此反应符合矢量条件，反应式左边能量小于右边，所以无外力时反应可反向进行。

五、Pb 和 Bi 均不溶于铜中，含 Bi 的铜不能热轧（发生碎裂），含 Pb 的铜较难热轧（有晶间开裂倾向），而含 Pb 的黄铜则可以热轧，不会开裂。分别观察其显微组织如下图所示，试解释以上原因。（10 分）



答：

Bi 沿  $\alpha$  晶界析出，Bi 的熔点较低（ $270^\circ\text{C}$ ），热轧时易发生  $T > T_{\text{Bi}}$  的情况，使 Bi 溶化导致沿晶碎裂。

Pb 的熔点  $327^\circ\text{C}$ ，Pb 在铜中的分布为尖角状，即使热轧时晶界不溶化，也会因为产生应力集中而导致晶间开裂；

Pb 呈球形分布在黄铜的晶界上，由于 Pb 对基体的连续性破坏程度小，且不易引起应力集中，故热轧时一般不会发生开裂。

六、一碳钢试样在平衡冷却条件下显微组织中分别含 50% 的铁素体和珠光体，问：

- (1) 此钢中碳浓度为多少？（5 分）
- (2) 若将此钢分别加热到  $730^\circ\text{C}$  和  $850^\circ\text{C}$ ，在平衡条件下将各得到什么组织？（5 分）
- (3) 计算此合金在室温平衡组织中 铁素体和渗碳体的相对量？（5 分）

答：(1) 设钢中碳浓度为  $x$ ，根据杠杆定律： $50\% = (0.77 - x) / 0.77$

$$x = 0.385 \text{ (wt.\%)}$$

(2) 若将此钢加热到  $730^\circ\text{C}$ ，得到  $(\alpha + \gamma)$  组织；加热到  $850^\circ\text{C}$ ，全部为奥氏体组织；

$$(3) \alpha = (6.69 - 0.385) / 6.69 = 94\%$$

$$\text{Fe}_3\text{C} = 1 - 94\% = 6\%$$

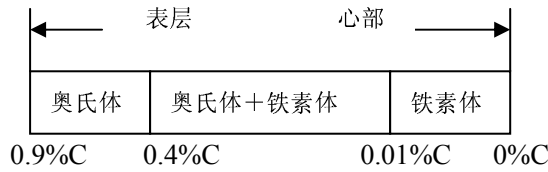
七、纯铁在  $950^\circ\text{C}$  渗碳，表面浓度达到 0.9%，缓慢冷却后，重新加热到  $800^\circ\text{C}$  继续渗碳，试列出：

- (1) 刚达到  $800^\circ\text{C}$  时，工件表面到心部的组织分布区域示意图；（6 分）
- (2) 在  $800^\circ\text{C}$  长时间渗碳后（碳气氛为 1.5%C），工件表面到心部的组织分布区域示意图，

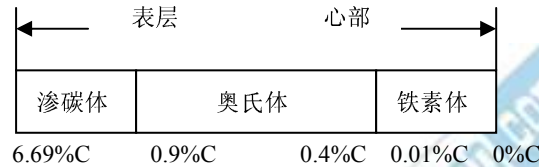
并解释组织形成的原因；（7分）

（3）在 800℃ 长时间渗碳后缓慢冷却至室温的组织分布区域示意图。（7分）

答：（1）

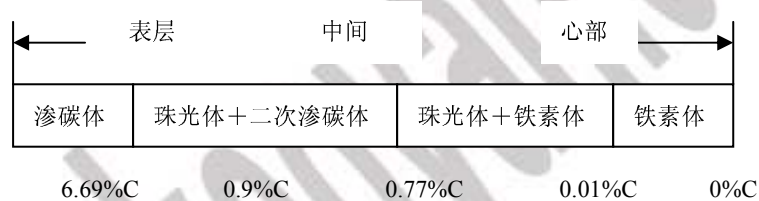


（2）

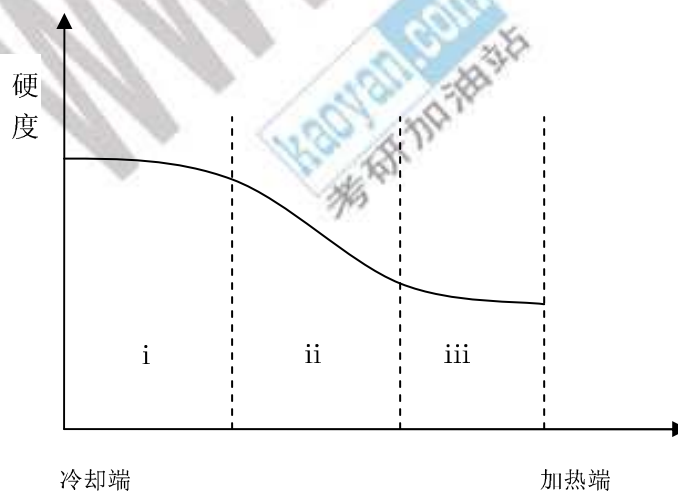


解释：表面渗碳体的形成：800℃时奥氏体的最大溶解度为 0.9%C，由于渗碳气氛为 1.5%C，大大超过奥氏体的溶解度，因此表面将形成渗碳体。原有的奥氏体区在扩散中扩大，原有的二相区将完全消失。这是因为随扩散进行，奥氏体/铁素体边界奥氏体的碳浓度将增加，超过 0.4%C 不再与铁素体保持平衡。奥氏体中的碳将向铁素体扩散，当铁素体的碳浓度达到 0.4%C 后及转变为奥氏体。

（3）



八、将经过大量冷塑性变形的纯金属长棒的一端浸入冰水中，另一端加热至接近熔点的高温，持续一小时后金属棒冷至室温。试作金属棒从冷水端到加热端的硬度分布曲线示意图，并简述原因。（15分）

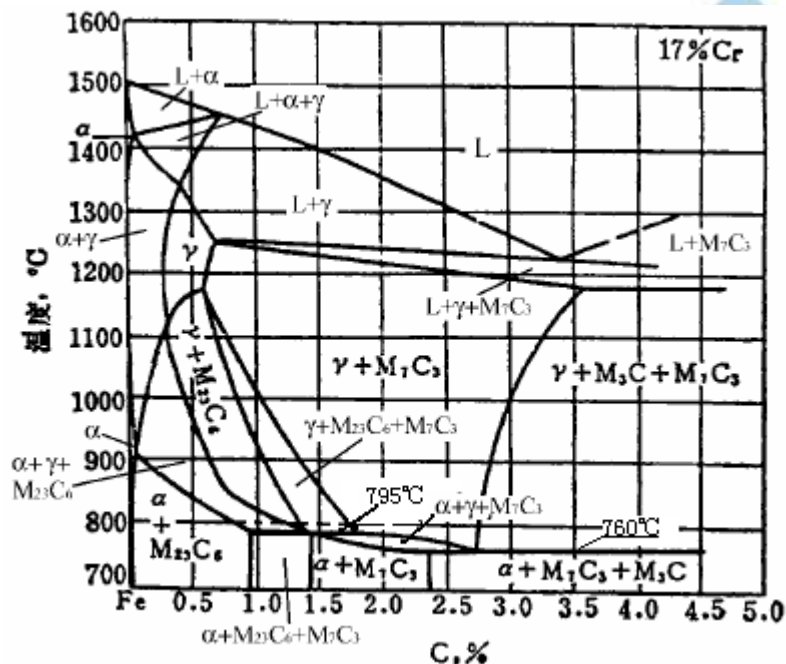


答：硬度分布曲线示意图如上。

在金属棒上出现了回复、再结晶和晶粒长大三个过程：i区，仅发生回复，硬度略有下降；ii区，发生再结晶，硬度大幅下降；iii区，晶粒长大，晶界对位错阻碍较小，硬度继续下降，但下降的幅度减小。对有同素异构转变的金属，可能会发生重结晶而使晶粒细化，故在iii区后会出现一定的硬度回升。

九、下图给出的是Fe-Cr-C 系含w(Cr)为17%的垂直截面。

- (1) 从截面上能判断哪一些三相区的三相反应类型？写出反应式；（5分）
- (2) 有哪几个四相区，哪些四相区能从截面上判断四相反应类型？写出反应式；（5分）



答：(1) 截面上共有8个三相区，其中有6个与四相区邻接，不能从图中的形状判定它的反应类型；在截面图上 $L + \gamma + M_7C_3$ 三相区的三条边不完整，也不能从图中的形状判定它的反应类型；在界面图上 $L + \alpha + \gamma$ 三相区是一个顶点朝下的曲边三角形，所以可以判定它是包晶反应，反应式： $L + \alpha \rightarrow \gamma$ 。

(2) 图中有两个四相区。其中的 $\gamma + \alpha + M_7C_3 + M_2C$ 四相区（760°C）在界面上只看到与它邻接的三个三相区，所以不能判定它的反应类型；另一个 $M_{23}C_6 + \gamma + M_7C_3 + \alpha$ 四相区（795°C），因为四相区在高温与两个三相区邻接，在低温与两个三相区邻接，所以是第II类四相反应。在高温邻接的两相区是 $M_{23}C_6 + \gamma$ ，在低温邻接的两相区是 $M_7C_3 + \alpha$ ，所以四相反应为： $M_{23}C_6 + \gamma \rightarrow M_7C_3 + \alpha$