

北 京 科 技 大 学

2013 年硕士学位研究生入学考试试题

试题编号： 814 试题名称： 材料科学基础 （共 4 页）

适用专业： 材料科学与工程

说明： 所有答案必须写在答题纸上，做在试题或草稿纸上无效。

一、简答题 (8 分/题，共 40 分)

1. 超点阵；

参考解析：

对某些成分接近于一定原子比的无序固溶体中，当它从高温缓冷到某一临界温度以下时，溶质原子会从统计随机分布状态过渡到占有一定位置的规则排列状态，即发生有序化过程，形成有序固溶体，这种有序固溶体成为超结构获超点阵。

2. 玻璃化转变温度；

参考解析：

如果材料从液体冷却的冷却速率很大，冷却时可以避开结晶，则在熔点温度以下以过冷液体形式继续冷却，当液体冷却到某一温度后，体积-温度曲线将发生转折，自由体积不再变化，变成玻璃态，曲线发生转折的温度称为玻璃化转化温度。

3. 伪共晶；

参考解析：

在非平衡凝固状态下，某些亚共晶或者过共晶成分的合金也能够得到全部的共晶组织，这种由非共晶成分的合金所得到的共晶组织称为伪共晶。

4. 脱溶；

参考解析：

当固溶体因温度变化等原因而呈过饱和状态时，将自发地发生分解过程，其所含的过饱和溶质原子通过扩散而形成新相析出，此过程称为脱溶。

5. 二次再结晶。

参考解析：

细小的一次再结晶组织被继续加热时，阻碍正常晶粒长大的因素开始消除，少数特殊晶界将迅速迁移，这些晶粒一旦长大到超过她周围的晶粒时，他的晶界就会开始向外迁移而

扩大，结果他就越长越大，直至相互接触为之，形成二次再结晶。

二、图 1 是立方 ZnS 结构示意图，回答以下问题（共 20 分）：

1. Zn^{2+} 的负离子配位数是多少？
2. Zn^{2+} 占据以 S^{2-} 密排结构的间隙位置，写出 Zn^{2+} 占有位置的坐标；
3. 计算 ZnS 结构的晶格常数(已知 Zn^{2+} 和 S^{2-} 的离子半径分别为 0.06 nm 和 0.18 nm)；
4. 计算 ZnS 结构的致密度。

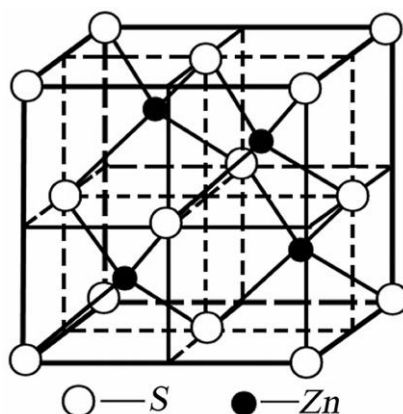


图 1 立方 ZnS 结构示意图（第二题图）

参考解析：

1. Zn^{2+} 的负离子配位数是 4。
2. Zn^{2+} 占有位置的坐标为：1/4,1/4,1/4; 3/4,3/4,1/4; 3/4,1/4,3/4;1/4,3/4,3/4;
3. 在立方闪锌矿中，小尺寸粒子 Zn^{2+} 处在由大尺寸离子 S^{2-} 构成的四面体结构中，以此结构计算晶格常数，如图。

$$\frac{3}{4} \cdot O'D = \text{Zn}^{2+} \text{ 离子半径} + \text{S}^{2-} \text{ 离子半径}$$

$$AD^2 = O'D^2 + O'A^2$$

$$AO' = \frac{2}{3} AE$$

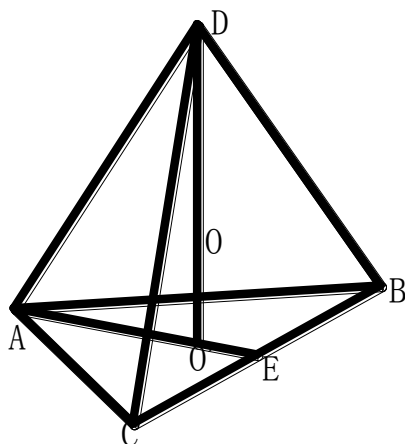
$$2AD^2 = \text{晶格常数}^2$$

由此算的晶格常数为：0.5542

4. 致密度为晶体结构中原子体积与晶胞体积之比。

$$K = (4 \cdot \text{Zn}^{2+} \text{ 体积} + 4 \cdot \text{S}^{2-} \text{ 体积}) / \text{晶胞体积}$$

$$= 55.4\%$$



三、图 2 是在同一滑移面上三组相互平行的相距为 d 的直位错，它们的柏氏矢量 \mathbf{b} 的模相等，箭头指向是柏氏矢量 \mathbf{b} 和位错线 \mathbf{t} 的方向。问每组的位错之间是相互吸引还是相互排斥，为什么？（共 15 分）

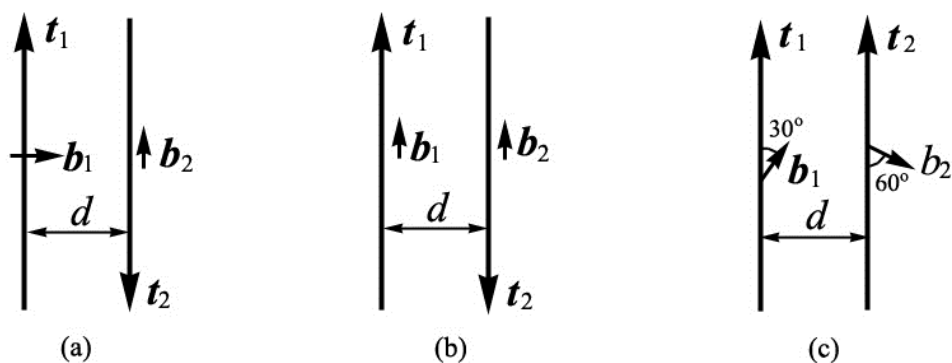


图 2 三组相互平行的直位错及其柏氏矢量（第三题图）

参考解析

(a) 组位错为刃型位错和螺位错的相互作用，平行的刃位错和螺型位错的应流场没有重叠的分量，所以他们之间没有交互作用，故 (a) 组位错之间没有作用力，既不排斥也不吸引。

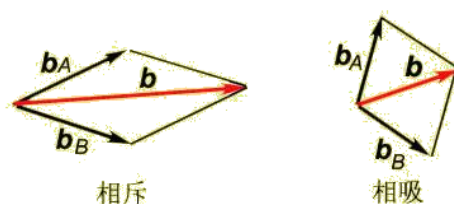
(b) 组位错为相互平行的螺位错之间的作用，之间的作用力为相互排斥。并行螺位错之间

的作用力 $f_r = \frac{Gb_1b_2}{2\pi r}$ ，其大小与两位错强度的乘积成正比，与两位错间距成反比，当 b_1 与 b_2 同向时， $f_r > 0$ ，两位错之间为排斥力，当 b_1 与 b_2 异向时， $f_r < 0$ ，两位错之间为吸引力，而图 (b) 中两螺位错的柏氏矢量相互平行，故相互排斥。

(c) 混合位错的相互作用可以看成是螺位错分量和刃型位错分量的叠加，所以两平行混合位错间的交互作用可直接看成是其螺型分量之间以及刃型分量之间交互作用之和。(c) 中两螺型位错分量逆向，故其分量作用力是相互吸引，两个刃型位错分量为同号位错，且在同一滑

移面上，故其分量作用为排斥，而且间距越小，排斥力越大，故（c）中位错相互吸引后在某一位置稳定，即排斥力与吸引力平衡。

注：若只想了解两位错是相斥还是相吸，简单的判别方法就是考察 2 个位错叠加前后的能量是增加还是减小，如果能量增加，这 2 个位错是相斥的，反之是相吸的。设柏氏矢量分别为 b_A 和 b_B 的两个位错，根据柏氏矢量守恒，合成后的位错柏氏矢量为 $b=b_A+b_B$ 。因为位错单位长度能量分别正比于柏氏矢量的平方，因此若 $b_A^2 + b_B^2 > b^2$ ，则两个位错合成在能量上不利，因此是相斥的；若 $b_A^2 + b_B^2 < b^2$ ，则两个位错合成在能量上有利，因此是相吸的。几何上来看，若 b_A 与 b_B 交角是锐角，则两位错相斥；若 b_A 与 b_B 交角是钝角，两位错相吸。



由此可判断（a）（c）组位错没有相互作用力，既不吸引也不排斥；（b）组相互排斥。

四、示意画出图 3 所示的 A-B 体系中各相在 T1、T2、T3 和 T4 温度时的 Gibbs 自由焓-成分曲线。(共 10 分)

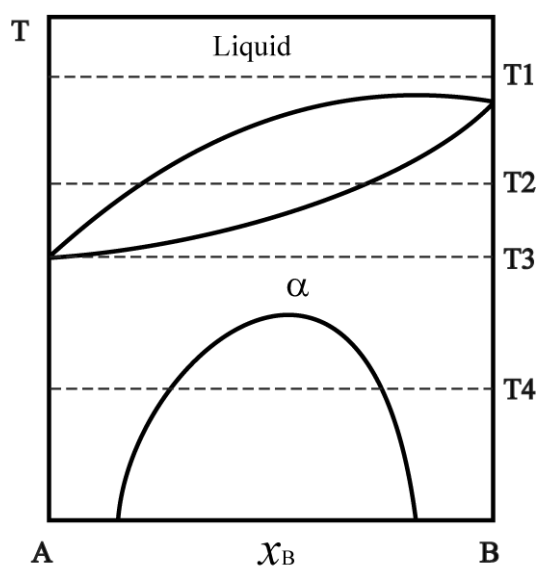
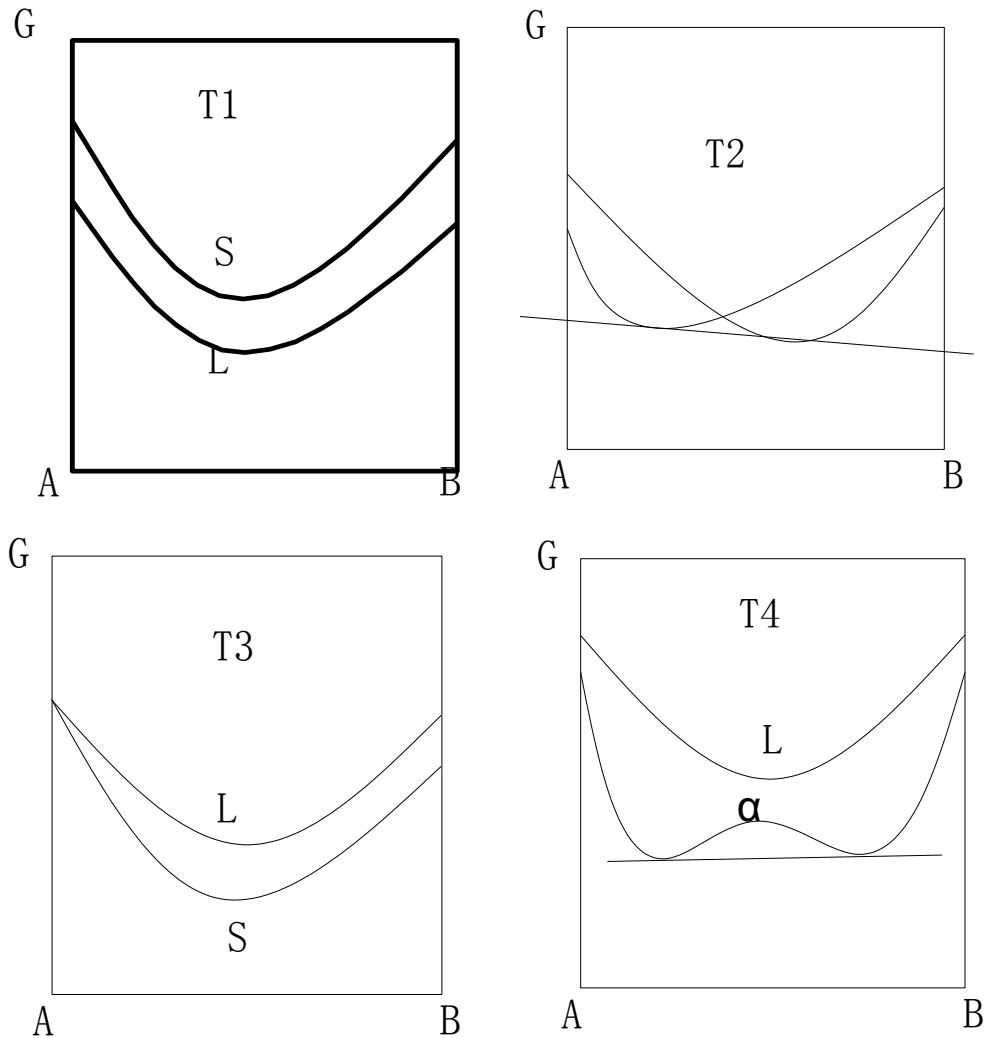


图 3 A-B 二元合金相图（第四题图）

参考解析：



五、图 4 为某三元合金系在 T_1 和 T_2 温度下的等温截面。若 $T_1 > T_2$, 确定此合金系中存在哪种类型的三相平衡反应？说明判断理由，并写出三相反应式。
 (共 10 分)

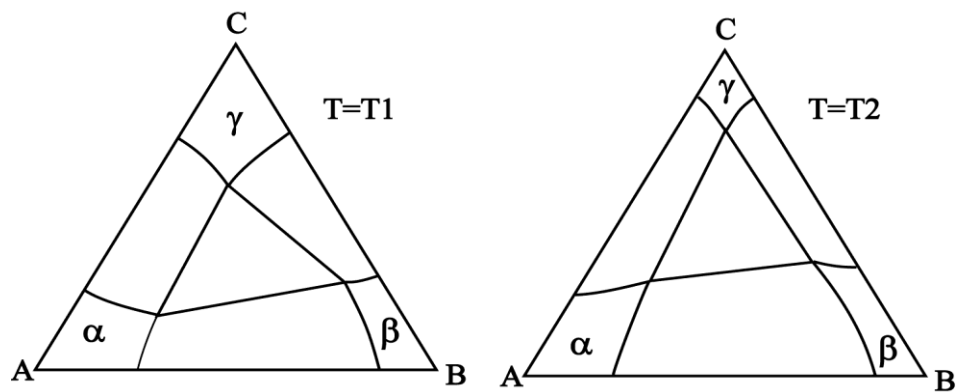


图 4 A-B-C 三元系等温截面（第五题图）

参考解析

四相反应： $L + \gamma \rightarrow \alpha + \beta$

类型：固态有限互溶的三元共晶相图。

判断理由：当温度降低时，低共熔点向 γ 相区移动， γ 相减少， α 和 β 相增加，因此可能存在转熔反应。

六、由材料 A 和 B 组成双层平板，A 板厚度为 L ，B 板厚度为 $2L$ ，如图 5 所示。

扩散组元在 A 板一侧表面的浓度为 $c=c_0$ (常数)，在 B 板一侧表面的浓度一直保持为 $c=0$ 。假设：扩散组元不与 A 和 B 形成新相；在 A 和 B 中扩散系数均为常数，分别是 D_1 和 D_2 ；扩散组元在 A/B 界面浓度保持连续；A 和 B 相互之间不扩散。求扩散在稳态时的扩散流量。(共 15 分)

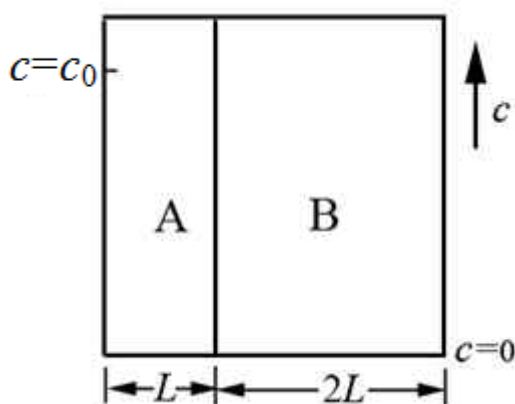


图 5 A 和 B 组成双层平板示意图（第六题图）

参考解析

设在 A-B 界面处扩散组元浓度为 c_1 ，

由扩散第一定律而知，对于在 A 中的扩散，

$$\text{扩散通量 } J = -D_1 (c_0 - c_1) / L \quad (1)$$

在 B 中的扩散，

$$\text{扩散通量 } J = -D_2 (c_1 - c) / 2L \quad (2)$$

由式 (1) (2) 得：

$$D_1 (c_0 - c_1) / L = D_2 (c_1 - c) / 2L$$

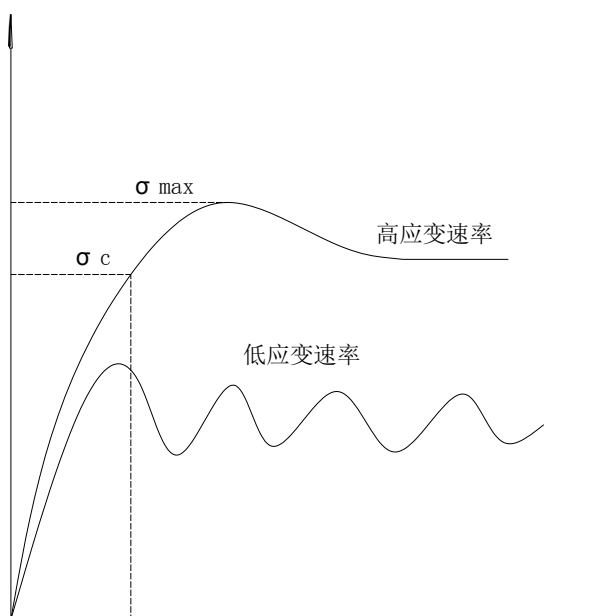
$$\text{解得：} c_1 = 2D_1 c_0 / (2D_1 + D_2) \quad (3)$$

$$\text{将 (3) 代入 (1) 得：} J = -D_2 \frac{D_1 c_0}{(2D_1 + D_2)} L, \text{ 负号表示扩散方向与浓度梯度方向相反。}$$

七、什么是动态回复？什么是动态再结晶？分别画出在相同温度时高、低应变速率下动态回复和动态再结晶的真应变—真应力曲线示意图，并给出简单解释。(共 10 分)

参考解析

回复是指新的无畸变晶粒出现之前所产生的亚结构和性能的变化阶段，再结晶是指无畸变的等轴新晶粒逐步取代变形晶粒的过程。在热加工过程中，晶粒变形的同时伴随着回复、再结晶过程，这种变形同时的回复再结晶过程称为动态回复和动态再结晶。



动态再结晶的真应变—真应力曲线示意图

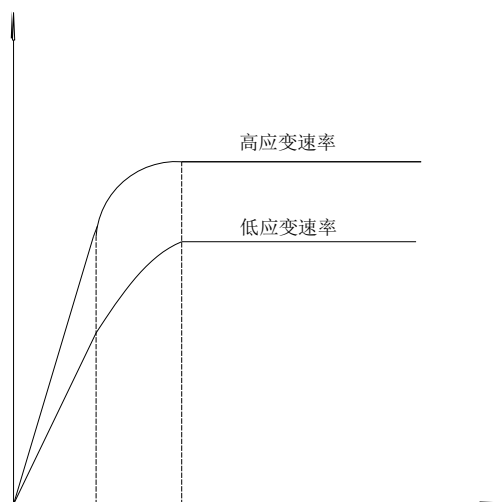
金属发生动态再结晶时真应变—真应力曲线分为三个阶段。

首先是变形加工硬化阶段，在此阶段应力随应变增加而迅速增加，不发生动态再结晶。

其次是动态再结晶阶段，在达到最大应力 σ_{\max} 之前，动态再结晶开始出现软化作用，但加工硬化仍占主导地位，当达到最大应力之后，再结晶加快，应力随应变增加而有所下降。

最后是稳态流变阶段，在此过程中加工硬化与动态再结晶引起的软化作用达到动态平

衡，真应变—真应力曲线趋于成直线。



动态回复的真应变—真应力曲线示意图

动态回复过程真应变—真应力曲线同样也分为三个阶段。

- (1) 微应变阶段，此阶段应力增加很快，开始出现加工硬化。
- (2) 均匀应变阶段，此阶段真应变—真应力曲线曲线斜率逐渐减小，材料开始均匀塑性变形，同时出现动态回复，加工硬化部分被动态回复引起的软化所抵消。
- (3) 稳态流变阶段，加工硬化与动态回复作用接近平衡，加工硬化率趋于零，真应变—真应力曲线趋于稳定状态。

在高应变速率下，稳态流变阶段位错密度较高，亚晶尺寸较小，达到稳态时的应力和应变也较大。在低应变速率下，相同的位错增值积累条件下有更多的时间进行动态回复，所以稳态流变阶段的位错密度较低，亚晶尺寸较小，达到稳态时的应力应变较小。

在低应力情况下，变形引起的加工硬化与动态再结晶产生的的软化交替进行，因此最后的稳态流变阶段出现周期性波动变化。

八、常温下单相合金塑性变形有哪些主要方式，说明拉伸变形后相应的显微组织形貌特征。(共 10 分)

参考解析

单相合金的塑性变形方式主要有滑移、孪生、扭折。

经拉伸变形后，材料的显微组织发生明显的改变。每个晶粒内部出现大量的滑移带或孪晶带，随着变形度的增加，原来的等轴晶粒逐渐沿其变形方向伸长。当变形量增加到很大时，形成纤维组织。经一定量的拉伸变形后，晶体中的位错线通过运动与交互作用，开始呈现纷乱的不均匀分布，并形成位错缠结。进一步增加变形度时，大量位错发生聚集，并由缠结的位错组成胞状亚结构。此时，变形晶粒是由许多这种胞状亚结构组成，各胞之间存在微小的位向差。

九、图 6 为 3 个不同成分（0.45%C, 3.4%C, 4.7%C）的铁碳合金缓冷凝固组织（硝酸酒精浸蚀样品），回答以下问题（共 20 分）。

1. 说明每个图对应的是哪个成分的合金，为什么？
2. 分析图 6(c)中组织的凝固过程，并计算该合金中白色长条状组织的重量相对量。

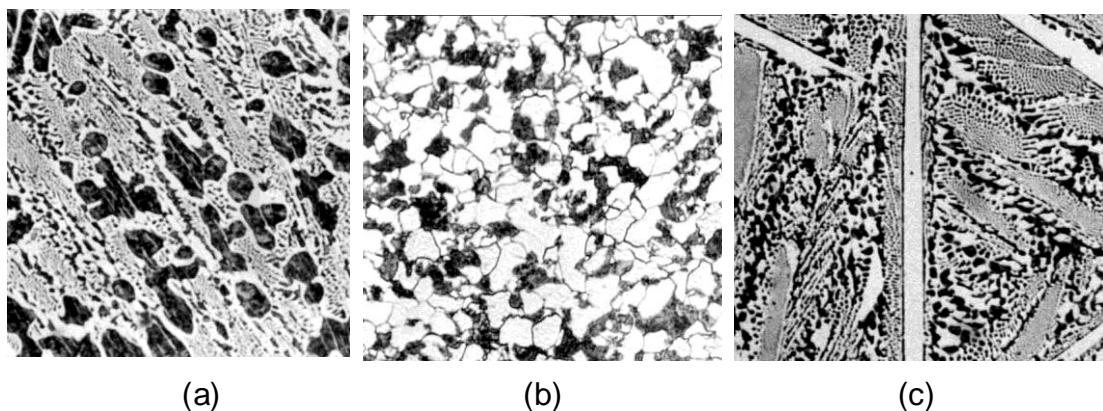


图 6 铁碳合金缓冷凝固组织（第九题图）

参考解析

1. (a) 图对应的是 3.4%C 含量的铁碳合金，(b) 图对应的是 0.45%C 含量的铁碳合金，(c) 图对应的是 4.7%C 含量的铁碳合金。

从 (a) 图中可以看出有大块的黑色组成物，其是由先共晶奥氏体转变成珠光体，周围组织为变态莱氏体，因此其为 3.4%C 含量的铁碳合金。

从 (b) 图中可以看出组织为先共析铁素体和珠光体，先共析铁素体成等轴状，与后产生的珠光体均匀分布，故为 0.45% 碳含量的亚共析钢。

图 (c) 中的板条状为一次渗碳体，以板条状形态生长，板条状渗碳体周围为变态莱氏体组织，故其为过共晶白口铸铁，其为 4.7% 碳含量的铁碳合金。

2. 白色长条状组织为一次渗碳体组织，根据铁碳相图及杠杆原则计算，

$$\text{白色条状组织百分含量 } \omega = \frac{4.7\% - 4.3\%}{6.69\% - 4.3\%} \times 100\% = 16.74\%$$