掌心博阅电子书重点名校考研专业课精品资料系列

【冲刺】2024年北京大学080501材料物理与化学《850材料综合之材料科学基础》考研仿真模拟5套卷

主编：掌心博阅电子书

青岛掌心博阅电子书 出品

特别说明

本书严格按照该科目今年考研专业课真题题型、试题数量和考试难度出题，结合本专业考研大纲整理编写，由考研学长严格审核校对。其内容涵盖了本科目考研常考试题及重点试题，针对性强，是报考本校该科目考研专业课复习的重要资料。

版权声明

青岛华研教育旗下掌心博阅电子书依法对本书享有专有著作权，同时我们尊重知识产权，对本电子书部分内容参考和引用的市面上已出版或发行图书及来自互联网等资料的文字、图片、表格数据等资料，均要求注明作者和来源。但由于各种原因，如资料引用时未能联系上作者或者无法确认内容来源等，因而有部分未注明作者或来源，在此对原作者或权利人表示感谢。若使用过程中对本书有任何异议请直接联系我们，我们会在第一时间与您沟通处理。

因编撰此电子书属于首次，加之作者水平和时间所限，书中错漏之处在所难免，恳切希望广大考生读者批评指正。

目录

【冲刺】2024 年北京大学 080501 材料物理与化学《850 材料综合之材料科学基础》考研仿真模拟 5 套卷（一）.....4

【冲刺】2024 年北京大学 080501 材料物理与化学《850 材料综合之材料科学基础》考研仿真模拟 5 套卷（二）.....14

【冲刺】2024 年北京大学 080501 材料物理与化学《850 材料综合之材料科学基础》考研仿真模拟 5 套卷（三）.....22

【冲刺】2024 年北京大学 080501 材料物理与化学《850 材料综合之材料科学基础》考研仿真模拟 5 套卷（四）.....33

【冲刺】2024 年北京大学 080501 材料物理与化学《850 材料综合之材料科学基础》考研仿真模拟 5 套卷（五）.....44

【冲刺】2024 年北京大学 080501 材料物理与化学《850 材料综合之材料科学基础》考研仿真模拟 5 套卷（一）

说明：本书按照考试大纲、历年真题、指定参考书等公开信息潜心整理编写，由学长严格审核校对，仅供考研备考使用，与目标学校及研究生院官方无关，如有侵权请联系我们立即处理。

一、计算题

1. **γ-Fe 在 912℃时转变为 α-Fe。这种转变称为什么转变？转变后的体积膨胀还是收缩？假定铁原子半径不变，则体积变化率 $\frac{V_\alpha - V_\gamma}{V_\gamma}$ 是多少？**

【答案】这种转变称为同素异构转变。

由于γ-Fe是面心立方结构，α-Fe是体心立方结构，前者的致密度大于后者，故转变后体积膨胀。

考虑晶体中的 4 个铁原子，可构成一个γ-Fe的晶胞，或两个α-Fe的晶胞。

设γ-Fe的晶胞边长为 a，α-Fe的晶胞边长为 b 铁原子半径为 r。

则 $4r=\sqrt{2}\,a=\sqrt{3}\,b \qquad b=\frac{\sqrt{2}\,a}{\sqrt{3}}$

$$V_\gamma = a^3$$

$$V_\alpha = 2b^3 = \frac{\sqrt{32}a^3}{\sqrt{27}}$$

$$\frac{V_\alpha - V_\gamma}{V_\gamma} = \frac{\frac{\sqrt{32}a^3}{\sqrt{27}} - a^3}{a^3} \approx 8.87\%$$

转变后的体积膨胀率约为 8.87%.

2. **拉伸试验达到抗拉强度，即工程应力-应变曲线的斜率为零的时候，开始出现颈缩。**

(1)证明这相当于 $\frac{dS}{de}=S$；

(2)计算颈缩开始产生的真应变；

(3)计算将试样拉伸至颈缩时的单位体积所作的功。

【答案】(1)颈缩之前，由于加工硬化使得承载能力增加，故 dP > 0;颈缩后，由于局部截面急剧减小，使得承载能力下降，故 dP < 0。所以颈缩的条件为 dP=0。在任一瞬时，载荷 P、真应力 S 与瞬时断面面积 F 的关系为

$$P = S \cdot F$$

对 P 全微分，并且令其等于零

$$dP=FdS+SdF=0 \text{ 所以} \frac{dS}{S} = \frac{dF}{F} \qquad ①$$

由于拉伸过程中，体积不变，对于任一时刻，$F \cdot L$为常数。故

$$F \cdot dL+L \cdot dF=0 \text{ 所以} -\frac{dF}{F} = \frac{dL}{L} = de \qquad ②$$

将②代入①式中，得到

$$\frac{dS}{S} = de$$

即 $\frac{dS}{de}=S$

(2)由 Hollomon 关系式

$$S = Ke^n$$

$$\frac{dS}{de} = nKe^{n-1} = Ke^n$$

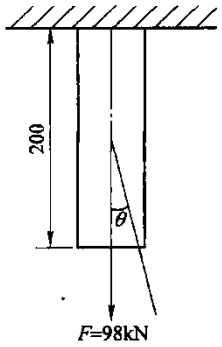
所以 n=e

(3)将试样拉至颈缩的时候所做的功为

$$W = \int_0^n S de = \int_0^n Ke^n de = K \cdot \frac{1}{n+1} e^{n+1} \Big|_0^n = \frac{Kn^{n+1}}{n+1} (J/m^2)$$

3. **设一长为 200mm、横截面积为 $400mm^2$ 的金属棒，上端固定，下端加以一个与长度方向平行且指向下方、大小为 98kN 的力，如图所示。**

试求出与力轴方向分别成 0°、30°、45°以及 θ 的各截面上的正应力和切应力。



图

【答案】与力轴方向分别成 0°、30°、45°以及 θ 各截面上的正应力和切应力求解如下：

设试样的原始截面积为 A_0，与力轴方向分别成 0°、30°、45°以及 θ后，试样的截面积分别为 A_1、A_2、A_3、A_4，而力 F 在这些截面的垂直分量分别为 F_1、F_2、F_3、F_4，水平分量分别为 P_1、P_2、P_3、P_4。则：

与力轴方向成 0°时

$$\sigma_1 = \frac{F_1}{A_1} = \frac{98kN}{400mm^2} = 245N/mm^2 = 245 \times 10^6 N/m^2 = 245MPa$$

$$\tau_1 = 0$$

与力轴方向成 30°时

$$\sigma_2 = \frac{F_2}{A_2} = \frac{F\cos 30°}{\frac{A}{\cos 30°}} = \frac{F}{A}\cos^2 30°$$

$$= \frac{98kN}{400mm^2}\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2 = 183.8MPa$$

$$\tau_2 = \frac{P_2}{A_2} = \frac{F\sin 30°}{\frac{A}{\cos 30°}} = \frac{F}{A}\sin 30°\cos 30°$$

$$= \frac{98kN}{400mm^2}\frac{1}{2}\frac{\sqrt{3}}{2} = 53.0MPa$$

与力轴方向成 45°时

$$\sigma_3 = \frac{F_3}{A_3} = \frac{F}{A}\cos^2 45° = \frac{98kN}{400mm^2}\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2 = 122.5MPa$$

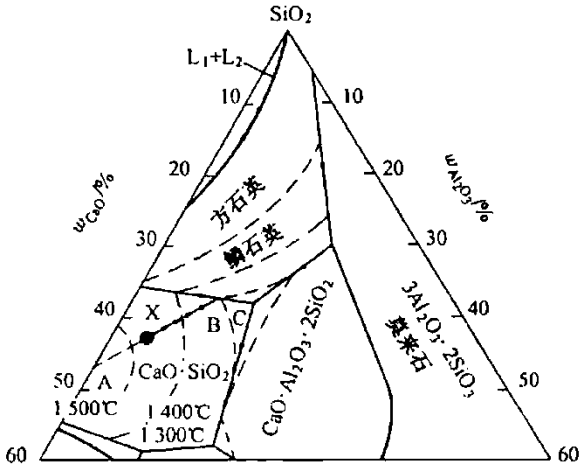
$$\tau_3 = \frac{P_3}{A_3} = \frac{F}{A}\sin 45°\cos 45° = \frac{98kN}{400mm^2}\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2 = 122.5MPa$$

与力轴方向成 θ 角时

$$\sigma_4 = \frac{F_4}{A_4} = \frac{F}{A}\cos^2\theta = 245MPa \cdot \cos^2\theta$$

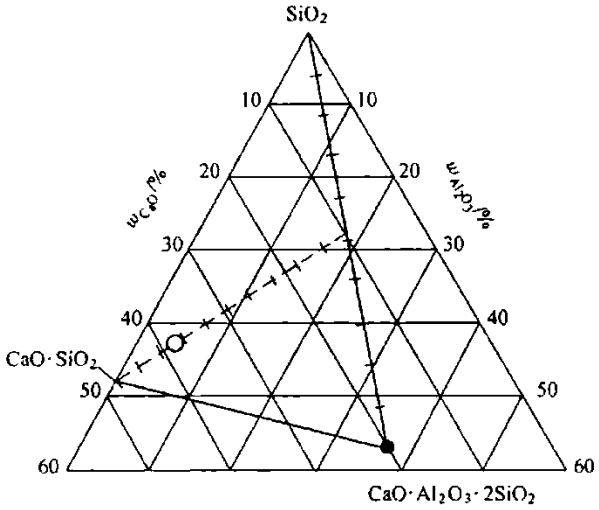
$$\tau_4 = \frac{P_4}{A_4} = \frac{F}{A}\sin\theta\cos\theta = 245\text{MPa} \cdot \sin\theta\cos\theta$$
$$= \frac{1}{2} \times 245\sin 2\theta = 122.5\text{MPa} \cdot \sin 2\theta$$

4. **根据图确定的质量分数为** $57\%(SiO_2) - 38\%(CaO) - 5\%(Al_2O_3)$**的陶瓷的凝固顺序和最终各相的量**($S—SiO_2, C—CaO, A—Al_2O_3$)。



(a) $SiO_2-CaO-Al_2O_3$相图投影图

图



(b) 图解

图

【答案】(1)该陶瓷成分在图(a)的点 X 处。其凝固顺序:

①在约1 450 ℃结晶开始 $L \rightarrow CS_{初}(CS—CaO \cdot SiO_2)$

②随温度下降，$CS_{初}$量增加，液相成分沿 A-B 线移动，直至到达单变量线上点 B 处。

③液相成分到达点 B 处，开始发生两相共晶转变

$$L \rightarrow \{S(\text{鳞石英}) + CS\}_E$$

同时液相成分随温度下降沿单变量线向点 C 处移动。

④到了点 C,剩余液相发生三相共晶转变

$$L \rightarrow (S + CS + CA2S)_E$$

直至液相消失($CS2A—CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$)，继续冷却到室温不再有组织变化。

(2)室温组织

$$CS_{初} + (S + CS)_E + (S + CS + CA2S)_E$$

(3)用相关元素的原子量可计算出SiO_2，CaO，Al_2O_3的摩尔质量依次为 60.09,58.08，101.96。据此可得陶瓷 X 及其组成物成分如下：

	S	CS	CA2S	X
w_S	1	0.508	0.432	0.57
w_C	0	0.492	0.202	0.38
w_A	0	0	0.366	0.50

用杠杆定律求解。

$$CS_{初}\% = 7.2\text{格}/10\text{格} = 72\%$$
$$S\% = 28\% \times 5.2\text{格}/10\text{格} = 14.6\%$$
$$CA2S\% = 28\% \times 4.8\text{格}/10\text{格} = 13.4\%$$

5. **In 具有四方结构，相对原子质量 $A_r = 114.82$，晶格常数 a=0.3252nm，c=0.4946ran,原子半径 r=0.1625nm,密度 $\rho = 7.286\ g/cm^3$，试求 In 单位晶胞拥有的原子数与致密度。**

【答案】由密度表达式 $\rho = \dfrac{n \cdot \dfrac{114.82}{6.023 \times 10^{23}}}{(0.3252 \times 10^{-7})^2 \times 0.4946 \times 10^{-7}} \approx 7.286$

得到单胞拥有的原子数 $n \approx 1.999$，$n = 2$，应为体心四方结构。

致密度 $K = \dfrac{nv}{V} = \dfrac{2 \times \dfrac{4}{3}\pi(0.1625)^3}{0.3252^2 \times 0.49646} \approx 0.687$

6. **已知和渗碳体相平衡的 a-Fe，其固溶度方程为**

$$w_C^{\alpha} = 2.55\ \exp(-11.3 \times 10^3/RT)$$

假设碳在奥氏体中的固溶度方程也类似于此方程,试根据 Fe－Fe_3C相图写出该方程。

【答案】设 C 在γ中的固溶度方程为

$$w_C^{\gamma} = A\exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$$

两边取对数

$$\ln w_C^{\gamma} = \ln A - \frac{Q}{RT}$$

由Fe－Fe_3C相图得

$$\ln 0.77 = \ln A - \frac{Q}{R \times 1\,000}$$
$$\ln 2.11 = \ln A - \frac{Q}{R \times 1\,421}$$

联立上述两式可得，Q=28(KJ/mol)，A=22.3,故得

$$w_C^{\gamma} = 22.3\ \exp\left(-\frac{28 \times 10^3}{RT}\right)$$

7. **同一滑移面上的两根正刃型位错,其柏氏矢量为 b，相距 L,当 L 远大于柏氏矢量模 b 时，其总能量为多少？若它们无限靠近时，总能量又为多少？如果是异号位错结果又如何?**

【答案】当两根刃型位错相距很远时，总能量等于两者各自能量之和，无论是同号位错还是异号位错，均有

$$W = W_1 + W_2 = 2\alpha Gb^2$$

当两根正刃型位错无限靠近时，相当于柏氏矢量为 26 的一个大位错的能量

$$W = \alpha \cdot G(2b)^2 = 4\alpha Gb^2$$

当两根异号刃型位错无限靠近时，相遇相消，其总能量为零。

8． **金属中空位平衡浓度随温度的变化规律遵循 N_v=NexP(-Q_v/RT)。某金属在被加热到 1130K 的时候，其空位的平衡浓度是其在 1000K 时的 5 倍。假设在 1000～1130K 之间金属的密度不变，气体常数为 8.31J/(mol•K)，试计算其空位形成能 Q_v。**

【答案】在 1130K 和 10P0K 的空位平衡浓度分别为N_{V1}和N_{V2}，那么

$$\frac{N_{V1}}{N_{V2}} = 5 = \frac{N\exp\left(-\frac{Q_V}{RT_1}\right)}{N\exp\left(-\frac{Q_V}{RT_2}\right)} \text{或} 5 = \exp\left[-\frac{Q_V}{R}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right]$$

这样可以求解Q_V

$$Q_V = -\frac{R\ln 5}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} = -\frac{[8.31\text{J/(mol·K)}]\ \ln 5}{\frac{1}{1130} - \frac{1}{1000}} = 116300\text{J/mol}$$

二、简答题

9． **什么叫临界晶核？它的物理意义及与过冷度的定量关系如何？**

【答案】根据自由能与晶胚半径的变化关系，可以知道半径$r < r_c$的晶胚不能成核；$r > r_c$的晶胚才有可能成核;而$r = r_c$的晶胚既可能消失，也可能稳定长大。因此，半径为r_c的晶胚称为临界晶核。其物理意义是，过冷液体中涌现出来的短程有序的原子团，当其尺寸$r \geq r_c$时，这样的原子团便可成为晶核而长大。

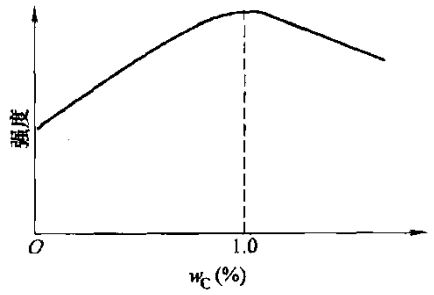
临界晶核半径r_c，其大小与过冷度有关

$$r_c = \frac{2\sigma T_m}{L_m}\frac{1}{\Delta T}$$

10．**示意画出平衡态碳钢的强度随钢含碳量的变化曲线，并从成分-组织-性能的角度定性解释之。**

【答案】如下图所示，强度随碳含量增加先增高后下降，在碳含量约 1.0%时为强度极大值。强度的这种变化与平衡态碳钢中的组织随碳含量变化有关：当$w_C < 0.77\%$时，钢中的组织为铁素体+珠光体，且珠光体的质量分数随碳含量增高而增大，而珠光体在钢中起强化作用，故强度随碳含量增加而增高；当$w_C >$ 0.77%后，钢中的组织为二次渗碳体+珠光体，二次渗碳体以网状分割珠光体，且二次渗碳体的质量分数随碳含量增高而增大。渗碳体硬而脆，少量不连续分布的二次渗碳体起强化作用，故强度随碳含量增加继续增高；但当$w_C \geq 1.0\%$后，

二次渗碳体的质量分数增加到呈连续网状分布，则会在外力作用下首先断裂形成微裂纹，故强度下降。



图

11．**分析“在液态金属中，凡是涌现出小于临界晶核半径的晶胚都不能成核，但是只要有足够的能量起伏提供形核功，还是可以成核的。”这段话是否正确，并回答纯金属材料形核时必须满足哪些条件。**

【答案】这段话前半句正确，后半句不正确。如果晶核半径不能达到临界晶核半径，即使得到的能量再多也不能形成晶体的晶核。

形成金属材料的晶核所需满足的条件：①尺寸条件应大于或等于临界晶核半径；②能量条件是大于或等于形核功；③要有一定的过冷度。

12．**5CrNiMo、3Cr2W8V、H11(或 H13)同属热作模具钢,使用上是否有区别?为什么?**

【答案】有区别，其合金元素总量分别为低合金(5CrNiMo)、中合金(H11)、高合金(3Cr2W8V)，5CrNiMo 做热锻模、H11 代替 302W8V 做中小型的机锻模及使用温度不是很高的热挤压模、3Cr2W8V 做热挤压模。它们使用上有区别的原因是由于含合金元素的种类及数量不同,致使其热强性、热疲劳性、抗高温氧化性均不相同，故应用不同。

13．**空间点阵和晶体结构有何区别？常见金属晶体结构中有哪一种不属于空间点阵？为什么？**

【答案】晶体结构是指自然界中由原子、分子、离子与空间点阵结合而成，实际存在的固体结构。而空间点阵是指阵点在空间呈规律分布，并且每个阵点都具肴二完全相同的物质环境和几何环境。这样，自然界中的晶体可以抽象为七大晶系 14 种布拉菲点阵。晶体结构相同的物质，其空间点阵可能不同；同样的空间点阵不同的物质，其晶体结构也可能相同。

密排六方不是空间点阵，原因是不满足几何环境相同的条件。

14．**定性比较陶瓷材料、金属材料、高分子材料的弹性模量的高低，并从材料中结合键的角度分析存在差异的原因。**

【答案】三类材料中，陶瓷材料的弹性模量最大，金属材料的弹性模量次之，高分子材料的弹性模最小。材料弹性模量的大小取决于材料中结合键的强弱。陶瓷材料由很强的离子键或共价键结合，故其弹性模量很大；金属材料由较弱的金属键结合，故其弹性模量较小；高分子材料分子链中为很强的共价键，但分子链间由很弱的二次键结合，故其弹性模量很小。

15．**何谓克根达耳效应，克根达耳试验结果给人们哪些启示?**

【答案】(1)克根达耳效应

如图 1 所示，在 FCC 结构的α黄铜(Cu+30%Zn)棒上敷上很细的钼丝作为标记，再在黄铜上镀铜，将钼丝包在黄铜与铜之间，在一定温度下进行扩散。其中钼丝仅作为标志物，在整个实验过程中不参加扩散。扩散组元是铜和锌，二者构成置换式固溶体。在置换式固溶体的扩散过程中，放置在原始界面上的标志物朝着低熔点元素的方向移动，移动距离与时间成抛物线关系。造成这种现象的原因是: 低熔点组元扩散快，高熔点组元扩散慢，这种不等量的原子交换造成克根达耳效应。

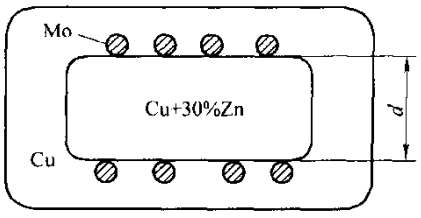


图 1

(2)克根达耳效应的实际意义

①揭示了扩散宏观规律与微观扩散机制的内在联系，具有普遍性；②直接否认了置换式固溶体扩散的换位机制，支持了空位机制；③扩散系统中每一种组元都有自己的扩散系数；④克根达耳现象往往会产生副效应，如收缩不完全会造成克根达耳孔等，这些副效应在实际当中往往产生不利的影响，因而应设法加以控制。

16．**何谓全位错？请说明在面心立方晶体中肖克莱不全位错和弗兰克不全位错的成因和运动特点。**

【答案】柏氏矢量等于点阵矢量的位错称为全位错。

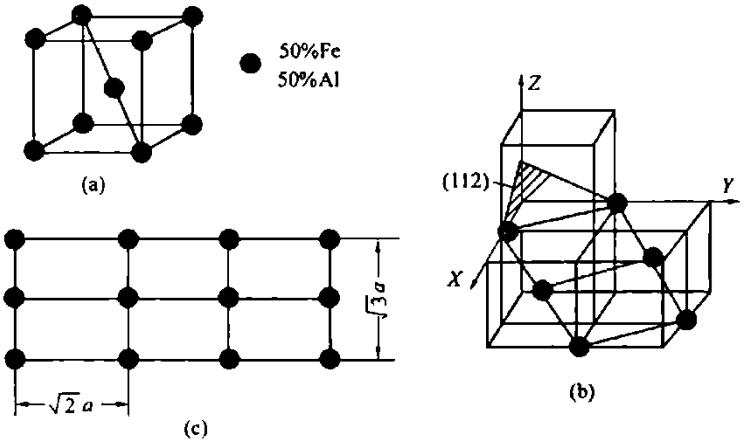
面心立方晶体中肖克莱不全位错是由不均匀滑移产生的，它可以是刃型位错，或螺型位错，或混合位错，可以滑移。

弗兰克不全位错是抽去或插入一层密排面造成的，其柏氏矢量垂直于滑移面，所以，弗兰克不全位错不能滑移，只能攀移。

三、作图题

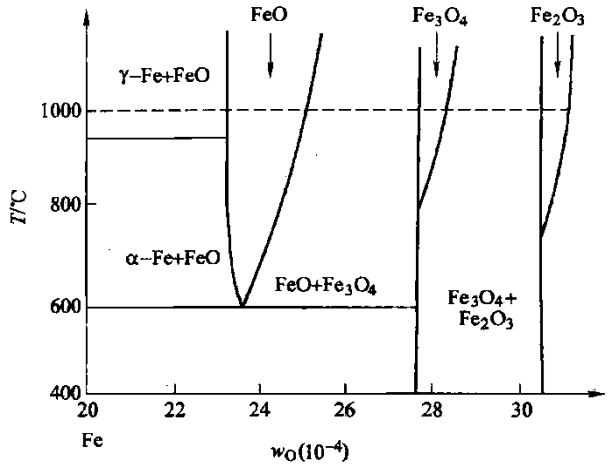
17．**FeAl 是电子化合物，具有体心立方点阵，试画出其晶胞,计算电子浓度，画出(112)面原子排列图。**

【答案】FeAl 为电子化合物，电子浓度 $C_{电}=3/2$，故为体心立方结构。其晶胞结构如图(a)所示，(112)面原子排列情况如图(b)、(c)所示。



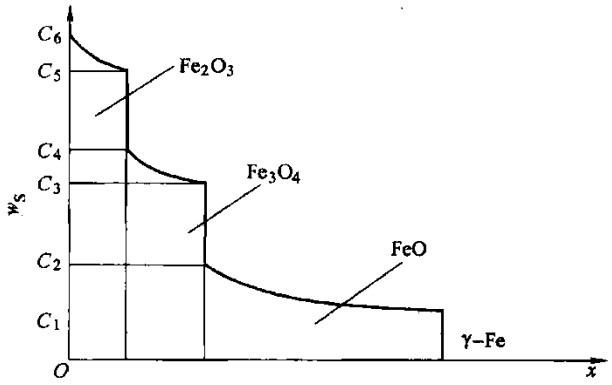
图

18．**试利用下图所示 Fe-O 相图分析纯铁在1000℃氧化时氧化层内的组织与氧浓度分布规律，画出示意图。**



图

【答案】根据 Fe-O 相图，在1000℃下当表明氧浓度达到 31%时，则由表面向内依次出现 Fe_2O_3、Fe_3O_4、FeO 氧化层，最内侧是γ-Fe，如下图所示。随着扩散的进行，氧化层逐渐增厚并向内部推行。



图

四、综合分析题

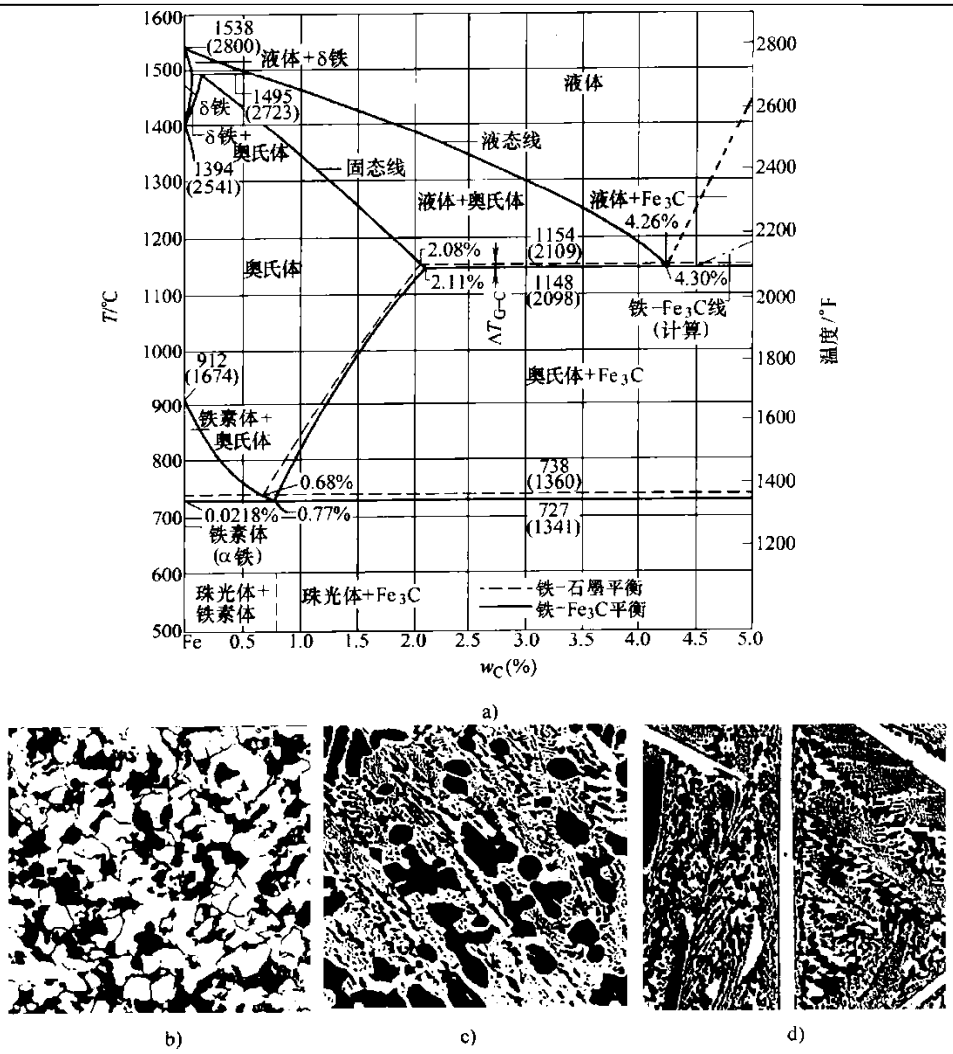
19．**研究镁单晶在室温的压缩试验，其[0001]方向与压缩轴重合，假定在$(10\bar{1}2)$面上，产生孪晶的临界切应力为在(0001)面上产生滑移的临界分切应力 τ_c的 10 倍,当压缩应力足够大时，试确定晶体是产生孪晶还是产生滑移，为什么?**

【答案】若压缩轴与[0001]方向重合，由于镁的不同滑移系的滑移方向相同，均为$<11\bar{2}0>$方向。滑移方向均与[0001]方向垂直，故$\cos\lambda = 0$。所以$\sigma_s = \frac{\sigma_C}{\cos\lambda\cos\phi} = \infty$。无论多大的压力都不能产生滑移。

但孪晶面为$\{10\bar{1}2\}$，孪生方向$<\bar{1}011>$,$[0001]$方向压缩的时候，有分切应力，当外力达到一定的数值的时候,将沿着$\{10\bar{1}2\}<\bar{1}011>$产生孪晶。本例子中产生孪晶的分切应力已达到$\tau_c$的 10 倍，故可发生孪生变形。

20．**(1)下图为铁碳相图，图 b、c、d 分别为 3 个不同成分(设为 0.45%C、3.4%C、4.7%C)的铁碳合金缓冷凝固组织(包括随后的固态相变、硝酸酒精浸蚀)。说明它们各是哪个成分的合金，为什么?**

(2)分析图 d 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(Fe_3C含 6.69%C)。



图

【答案】(1)题图 b 组织为 0.45%C 合金，即亚共析钢，因其由等轴铁素体(白色)和珠光体(黑色)组成。题图 c 组织为 3.4%C 合金，即亚共晶白口铸铁，因其有枝晶状珠光体(黑色，原奥氏体晶粒形状)和变态莱氏体组成。题图 d 组织为 4.7%C 合金，即过共晶白口铸铁，因其由板条状白色一次渗碳体和变态莱氏体组成。

(2)液相冷却时，先形成板条状一次渗碳体，再形成共晶莱氏体，冷至室温后莱氏体变为变态莱氏体。一次渗碳体的相对量为：(4.7-4.3)/(6.69-4.3)=16.7%。

21．**在 FCC 晶体的(111)面上有一自左向右扫过的 Shockley 分位错 $\overline{EF}$和一正三角形空位片 MNO，如图 1 所示，已知 $\overline{NO}$为 $[1\bar{1}0]$。**

(1)写出各位错的柏式矢量。

(2)判断各位错的性质。

(3)指出 I、Ⅱ、Ⅲ区原子在[111]方向的堆垛次序。

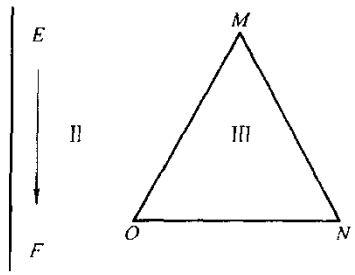


图 1

【答案】(1)MN、NO、OM 位错线的柏式矢量为$\frac{1}{3}[\bar{1}\,\bar{1}\,\bar{1}]$；EF 的柏式矢量为$\frac{1}{6}[11\bar{2}]$(或者$\frac{1}{6}[2\bar{1}\,\bar{1}]$、$\frac{1}{6}[\bar{2}11]$;$\frac{1}{6}[\bar{1}\,2\,\bar{1}]$、$\frac{1}{6}[1\bar{2}1]$)。

(2)正三角形 MNO 是个空位片,所以 MN、NO、OM 是 Frank 分位错, EF 是 Shockley 分位错。MN、NO、OM 都是刃型位错。当 EF 柏式矢量为$\frac{1}{6}[11\bar{2}]$时，是右旋螺型位错；当 EF 的柏式矢量为$\frac{1}{6}[2\bar{1}\,\bar{1}]$、$\frac{1}{6}[\bar{2}11]$，或者$\frac{1}{6}[\bar{1}2\,\bar{1}]$、$\frac{1}{6}[1\bar{2}1]$时，为混合位错。

(3)I：ABCAB┆ABCABC

Ⅱ：ABCABCABCABC

Ⅲ:ABCAB┆ABCABC

【冲刺】2024年北京大学080501材料物理与化学《850材料综合之材料科学基础》考研仿真模拟5套卷（二）

说明：本书按照考试大纲、历年真题、指定参考书等公开信息潜心整理编写，由学长严格审核校对，仅供考研备考使用，与目标学校及研究生院官方无关，如有侵权请联系我们立即处理。

一、计算题

1. **将工业纯铁在920℃渗碳，如果工件表面的碳浓度一直保持恒定，即$w_C=1.2\%$，扩散系数$D=1.5\times10^{-11}\ m^2/s$，渗碳10h。(1)求表层碳浓度分布；(2)如果规定渗碳层深为表面至碳的质量分数为0.2%处，求渗层深度？**

【答案】设渗层深度为x，将$C_0=0, C_s=1.2, D=1.5\times10^{-11}\ m^2/s$及t=36000s

代入公式$\frac{C_s-C_x}{C_s-C_0}=\mathrm{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$

(1)解得表层碳浓度分布为

$$C_x=1.2[1-\mathrm{erf}(6.8\times10^2x)]$$

(2)将$C_x=0.2$代入上式，查误差函数表

$$Z\approx6.8\times10^2x=0.9784$$

层深：

x=0.00144m=1.44mm

2. **试证明在立方系中，晶向$[h\ k\ l]$垂直于晶面$(h\ k\ l)$。**

【答案】晶面(hkl)在三轴截距为$\frac{1}{h}$、$\frac{1}{k}$、$\frac{1}{l}$，该晶面的平面方程为

$$x/(1/h)+y/(1/k)+z/(1/l)=1$$

其与三轴交点如图所示。

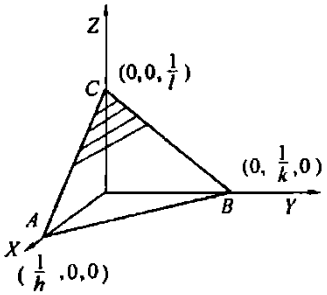
$$\boldsymbol{CA}=[\frac{1}{h}\quad 0\quad -\frac{1}{l}]$$

$$\boldsymbol{CB}=[0\quad \frac{1}{k}\quad -\frac{1}{l}]$$

$$[\frac{1}{h}\quad 0\quad -\frac{1}{l}]\cdot[h\quad k\quad l]=1+(-1)=0$$

$$[0\quad \frac{1}{k}\quad -\frac{1}{l}]\cdot[h\quad k\quad l]=1+(-1)=0$$

故$[h\ k\ l]$垂直于(hkl)面上的两个相交直线，所以$[h\ k\ l]\perp(h\ k\ l)$



图(1-14)

图

3. **请判定在FCC晶体中下列位错反应能否进行：**

$$\frac{a}{2}[10\bar{1}]+\frac{a}{6}[\bar{1}21]\rightarrow\frac{a}{3}[11\bar{1}]$$

【答案】几何条件：

$$b_1+b_2=\left(\frac{1}{2}-\frac{1}{6}\right)a+\frac{2}{6}b+\left(-\frac{1}{2}+\frac{1}{6}\right)c=\frac{1}{3}a+\frac{1}{3}b-\frac{1}{3}c=\frac{a}{3}\ (11\bar{1})$$

能量条件：

$$\left|\frac{a}{2}\sqrt{2}\right|^2+\left|\frac{a}{6}\sqrt{6}\right|^2=\left(\frac{a^2}{2}+\frac{a^2}{6}\right)=\frac{2a^2}{3}>\frac{a^2}{3}$$

满足几何条件和能量条件，反应可以进行。

4. **有一 70MPa 应力作用在 FCC 晶体的[001]方向上，求作用在**$(111)\ [10\bar{1}]$**和**$(1\bar{1}1)\ [110]$**滑移系上的分切应力，晶体中哪个滑移系先开动?**

【答案】代入公式计算：

$$\tau=\sigma\cos\varphi\cos\lambda$$

其中

$$\cos\lambda=\frac{|au+bv+cw|}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}\sqrt{u^2+v^2+w^2}}$$

$$\cos\varphi=\frac{|ah+bk+cl|}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}\sqrt{h^2+k^2+l^2}}$$

(其中，abc 分别为外力的晶向指数值)

对于$(1\bar{1}1)\ [110]$滑移系，由于$\cos\lambda=0$，所以该滑移系在应力作用下不滑移。

对于$(111)\ [10\bar{1}]$滑移系，代入数值，则

$$\tau=70\times\frac{1}{\sqrt{3}}\times\frac{1}{\sqrt{2}}=28.58\text{MPa}$$

所以$(111)\ [10\bar{1}]$滑移系开动，其上的分切应力为 28.58MPa。

5. **采用 Cu 的** $K_\alpha(\lambda=0.154\ 056\ \text{nm})$**测得固溶渗氮后，预冷至 1050℃水淬的 0Cr18Ni9Ti 奥氏体不锈钢试样的 X 射线衍射图，其中奥氏体的衍射峰所对应的**2θ**依次为** 43．28°，50．48°，74．10°，89．90°，95．12°，**若 a=0.36165nm,试求对应这些衍射峰的干涉指数。**

【答案】由已知条件，$\lambda=0.154\ 056$ nm和 a=0.36165nm,只要将晶面间距公式$d_{hkl}=\frac{a}{\sqrt{h^2+k^2+l^2}}$代入布拉格公式$2d_{hkl}\sin\theta=n\lambda$中，即可求出$h^2+k^2+l^2$的数值。

对于$2\theta=43.28°$

$$h^2+k^2+l^2=\frac{4\times0.361\ 65^2\cdot\sin^2\left(\frac{43.28°}{2}\right)}{0.154\ 056^2}\approx2.997\ 8\approx3$$

根据面心立方晶体的消光规律，当 h、k、l 全奇或全偶时产生衍射峰，故$2\theta=43.28°$对应的衍射峰的干涉指数为(111)。

同理，当$2\theta=50.48°$，$h^2+k^2+l^2=4.008\ 1\approx4$，干涉指数为(200);当$2\theta=70.10°$，$h^2+k^2+l^2=8.002\ 2\approx8$，干涉指数为(220);当$2\theta=89.90°$，$h^2+k^2+l^2=11.002\ 5\approx11$，对应的干涉指数为(311);当$2\theta=95.12°$，$h^2+k^2+l^2=12.005\ 3\approx12$，干涉指数为(222)。

6. **将一根横截面积为** 10cm^2**的 FCC 金属单晶体试棒沿轴向进行压缩试验。已知临界分切应力为** 0.1kgf/mm^2**，棒轴的初始取向为** $[21\bar{5}]$**，请回**

【答案】

(1)初始滑移系统(要求写出具体指数)。

(2)滑移开始时的转动规律和转轴。

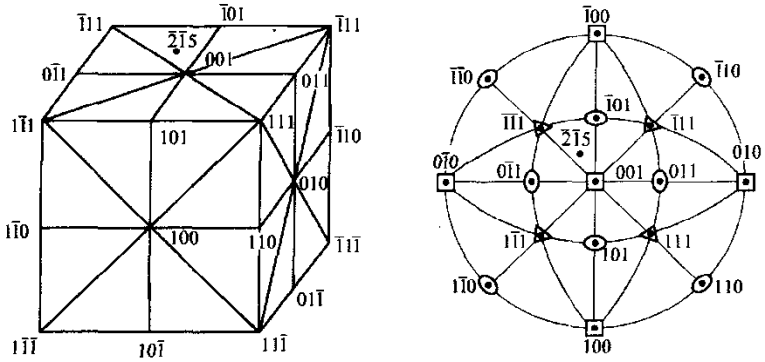
(3)双滑移系统。

(4)双滑移开始时晶体的取向(即此时棒轴方向)。

(5)双滑移开始时的轴向压力 P(不考虑物理硬化)。

(6)晶体最终的稳定取向(假设试棒在达到稳定取向前不断裂)。

答:见下图。



图

(1)$\boldsymbol{F}=[215]\rightarrow[\bar{2}\,\bar{1}5]\in([001]-[\bar{1}01]-[\bar{1}\,\bar{1}1])$取向三角形，初始滑移系统：$(\bar{1}11)[0\bar{1}1]$。

(2)因为是压缩，所以转动规律：$\boldsymbol{F}\rightarrow[\bar{1}11]$，转轴$[\bar{2}\,\bar{1}5]\times[\bar{1}11]=[\bar{6}33]=[\bar{2}\,\bar{1}\,\bar{1}]$。

(3)双滑移系统：$(\bar{1}11)[0\bar{1}1]+(\bar{1}\,\bar{1}1)[011]$。

(4)双滑移开始时晶体的取向：

用晶带关系求解

$$[\bar{2}\,\bar{1}5]\times[\bar{1}11]=[\bar{6}33]=[\bar{2}\,\bar{1}\,\bar{1}]$$

$$[001]\times[\bar{1}01]=[0\bar{1}0]$$

双滑移开始时晶体的取向为$[\bar{2}\,\bar{1}\,\bar{1}]\times[0\bar{1}0]=[\bar{1}02]$。

(5)$\tau_c=\sigma\cos\lambda\cos\varphi_0=\dfrac{P}{A_0}\cos\lambda\cos\varphi_0\rightarrow P=\dfrac{\tau_c A_0}{\cos\lambda\cos\varphi_0}$

$$\cos\lambda=\cos([\bar{1}02],[0\bar{1}1])=\frac{\sqrt{10}}{5}$$

$$\cos\varphi_0=\cos([\bar{2}\,\bar{1}5],[\bar{1}11])=\frac{\sqrt{10}}{5}$$

所以

$$P=\frac{0.1\times1000}{\frac{\sqrt{10}}{5}\times\frac{\sqrt{10}}{5}}\times9.8\mathrm{N}=2450\mathrm{N}$$

(6)晶体最终的稳定取向：$[\bar{1}01]$。

7. **分析 Fe-3.6%C 合金获得珠光体基体灰口组织的结晶过程，并计算其中石墨含量。**

【答案】对于 Fe-3.6%C 合金，要获得珠光体基体灰铸铁组织，根据 Fe-石墨相图，有：

$$L\leftrightarrow\gamma_{初}$$

$$L\leftrightarrow(\gamma+G)_{共晶}$$

$$\gamma\leftrightarrow G$$

$$\gamma\leftrightarrow(\alpha+Fe_3C)_{共析}$$

其中石墨的含量为：

$$w_C=\frac{3.6-0.68}{100-0.68}\times100\%\approx2.94\%$$

8. **欲将一批齿轮进行渗碳，每炉装 500 件。在900℃渗 10h 可以达到规定的深度。假定在900℃ 渗碳每炉每小时生产成本为 1000 元，而在1000℃渗碳为 1500 元。问在哪一温度渗碳成本较低？(已知 Q=32900cal/m0l，R＝1.987cal/mol·K，1cal＝4.1868J)**

【答案】900℃＝1173K，1000℃＝1273K

由$D_{1273}t_{1273}=D_{1173}t_{1173}$

可得$t_{1273}=D_{1173}t_{1173}/D_{1273}$

$=10\exp[-32900/(1.987\times1173)]/\exp[-32900/(1.987\times1273)]$ h

$=10\times\exp(-14.1156)/\exp(-13.0068)$ h

$=10\times\exp(-1.1088)$ h

$=3.299$h

900℃渗碳，一炉齿轮需要 1000 元/h×10h=10000 元。

1000℃渗碳，一炉齿轮需要 1500 元/h×3.299h=4948.5 元。因此，在1000℃渗碳成本较低。

二、简答题

9. **未来材料科学研究具有什么样的特点？材料科学的发展方向是什么？**

【答案】目前，由于对新材料的需求日益增长,人们希望在材料研制中尽可能地增加理论预见性、减少盲目性。客观上由于现代化物理化学等基础科学的深入发展,提供了许多新的原理与概念，更重要的是计算机信息处理技术的发展，以及各种材料制备及表征评价技术的进展，使材料研制及设计出现一些新的特点。

①在材料的微观结构设计方面，将从显微构造层次(－1μm)向分子、原子层次(1～10nm)及电子层次(0.1—1nm)发展(研制微米、纳米材料)。

②将有机、无机和金属三大类型材料在原子、分子水平上混合而构成所谓“杂化”(Hybrid)材料的构思设想，探索合成材料新途径。

③在新材料研制中，在数据库和知识库存的基础上，利用计算机进行新材料的性能预报，利用计算机模拟揭示新材料微观结构与性能的关系。

④深入研究各种条件下材料的生产过程，运用新思维，采用新技术，来开发新材料，进行半导体超晶格材料的设计，即所谓“能带工程”或“原子工程”就是一例。它通过调控材料中的电子结构，按新思维获取由组成不同的半导体超薄层交替生长的多层异质周期结构材料,从而极大地推动了半导体激光器的研制。

⑤选定重点目标，组织多学科力量联合设计某种新材料，如按航天防热材料的要求而提出的“功能梯度"材料(FGM)的设想和实践。

21 世纪的材料科学必将在科学技术迅猛发展的基础上，朝着高功能化、超高性能化、复杂化(复合化和复杂化)、精细化、生态环境化和智能化的方向发展，从而为人类社会的物质文明作出更大的贡献。

10. **结合合金元素对铁碳相图的影响规律，说明合金钢的组织和热处理工艺有何变化？**

【答案】合金元素加入后，会对临界温度、E 点和 S 点产生影响，扩大奥氏体区的元素，一般使 A_3、A_1 温度降低,S 点、E 点向左下方移动;缩小奥氏体区的元素,一般使 A_3、A_1 温度升高，S 点、E 点向左上方移动。由于上述原因，所以合金钢热处理温度与碳钢不同，热处理后组织也有区别，例 4Crl3，由于 Cr 使 E 点左移,使其变为过共析钢的组织。

11. **分析回复与再结晶阶段空位与位错的变化及其对性能的影响。**

【答案】在低温回复阶段，主要表现为空位的消失。冷变形后所产生的大量空位，通过空位迁移至表

面或晶界、空位与间隙原子重新重合、空位与位错发生交互作用、空位聚集成空位片等方式，使得空位数量急剧减少。

在中温回复阶段，温度升高，使位错容易滑移，同一滑移面上的异号位错相遇会相互吸引而抵消，不但使亚晶内部的位错数目减少，而且胞壁缠结位错的减少更为显著，重新调整排列规则，胞壁变得明晰，形成回复亚晶。即该阶段主要表现为位错的滑移，导致位错重新结合，异号位错的汇聚而抵消以及亚晶的长大。

在高温回复阶段，位错运动的动力学条件更为充分，有滑移同时也发生攀移，使得多层滑移面上的位错密度趋于相同，各位错之间的作用力使得同一滑移面上的位错分布均匀，间距大体相等，形成规则排列的垂直于滑移面的位错墙，即多边形化的过程。多边形化构成的位错墙即是小角度晶界，它将原晶粒分隔成若干个亚晶粒。

12．**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。**

【答案】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。

13．**若选用 CGr12MoV 钢制造冷作模具、具有一定热硬性要求的冲压模具和量具，应分别制定何种热处理工艺?为什么?**

【答案】①Crl2MoV 钢制作冷作模具，其热处理工艺为一次硬化法: 980～1 030 ℃淬火，200～270 ℃回火。②Crl2MoV 钢制作具有一定热硬性要求的冲压模时，可采用二次硬化法，即1 050～1 100 ℃淬火，500～520 ℃多次回火,硬度可提高至 60～62HRC。③Crl2MoV 钢制作量具时可以采用1 050～1 100 ℃淬火，550～600t 多次回火，然后渗氮或碳氮共渗,使其具有高的耐磨性、耐蚀性和尺寸稳定性。

原因: Crl2MoV 钢的一次硬化法可使钢具有高的硬度和耐磨性、较小的热处理变形，无特殊要求的大多数 Crl2MoV 钢制作的模具均采用此法;Crl2MoV 钢的二次硬化法适用于工作温度较高(400～500 ℃)或要求热硬度的场合;而淬火+高温回火(调质)后再渗氮或碳氮共渗的 Cd2MoV,由于其具有高耐磨性、耐蚀性和较高的尺寸稳定性，故常用于制作量具。

14．**什么叫做断裂韧度K_{IC}? 在机械设计中有什么实际应用。**

【答案】K_{IC}是 I 型裂纹的应力场强度因子的临界值,线弹性状态下，以应力场强度因子形式表示的断裂韧性，单位$MPa\cdot m^{1/2}$。

$Y\sigma\sqrt{a}\geqslant K_{IC}$被称作断裂的判据，即当应力场强度因子大于等于$K_{IC}$的时候，裂纹失稳，材料发生断裂,已知工作应力 σ和材料的断裂韧度K_{IC}可以估算出工件中允许存在的最大裂纹尺寸a_c。已知裂纹尺寸 a 和工作应力σ，可以求出工作时候的应力场强度因子K_I为合理选材做出理论依据。已知K_{IC}和存在的裂纹尺寸 a,可以求出最大许用应力σ，若工作应力小于此应力，裂纹不扩展，反之，裂纹失稳。

15．**叙述你所熟悉的某一类材料的凝固过程。**

【答案】以金属材料为例

金属材料在凝固过程后通常得到结晶体，因此金属材料的凝固过程也称结晶过程。

金属的结晶通常分为两个阶段，即形核和形核后的长大阶段。

金属的形核通常在金属熔体中的小尺寸有序原子集团(晶胚)基础上，通过原子扩散而形成能够稳定长大的晶核，即纯金属的形核过程一般需要满足能量条件和结构条件，而合金的形核还要一定的成分条件。

金属形核后的长大通常需要一个较小的过冷度，原子向晶核扩散而长大，在长大过程中结晶界面是粗糙界面，因此金属长大速度一般很快，而结晶界面结构、温度梯度和结晶速度会影响到长大后的晶粒形状和大小，对于合金通常还会造成合金结晶后出现成分偏析等问题。

16．**说说你对材料的成分、组织、工艺与性能之间关系的理解。**

【答案】材料的成分、组织、工艺与性能之间的关系非常紧密，互相影响。材料的性能与它们的化学成分和组织结梅密切相关，材料的力学性能往往对结构十分敏感，结构的任何微小变化，都会使性能发生明显变化。材料工作者的最终目标是根据最终需求，设计出合理成分，制订最佳生产流程，而后生产出符合要求的材料。

如钢中存在的碳原子对钢的性能起着关键作用，许多金属材料中一些极微童的合金元素也足以严重影响其性能。然而由同一元素碳构成的不同材料如石墨和金刚石，也有着不同的性能，有些高分子的化学成分完全相同而性能却大不一样，其原因是它们有着不同的内部结构。

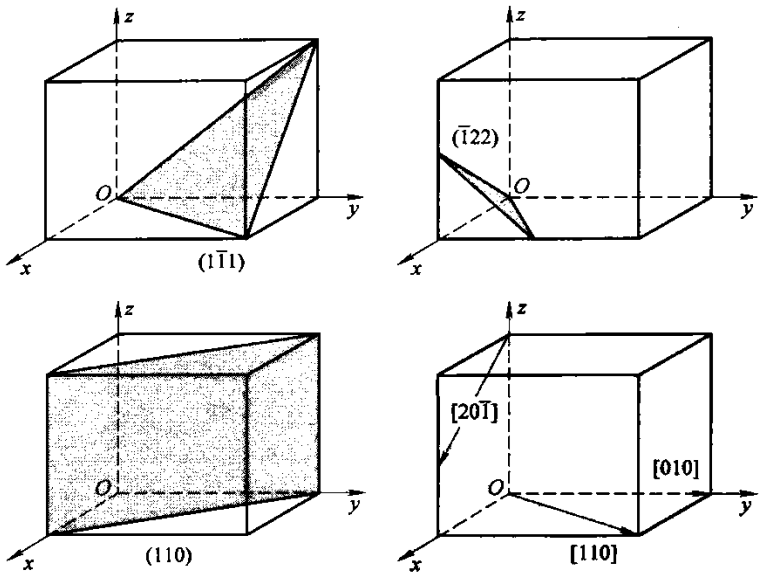
材料的内部结构可分为不同层次，包括原子结构、原子的排列方式，以及显微组织和结构缺陷。如果同样的晶体材料，它的晶粒或是“相”的形态和分布改变，就可以大大地改善它的性能。无论是金属、陶瓷、半导体、高分子还是复合材料，它们的发展无一不与成分和结构密切相关。只有理解和控制材料的结构，才能得到人们所要求的材料性能。

而材料的制备/合成和加工不仅赋予材料一定的尺寸和形状，而且是控制材料成分和结构的必要手段。如钢材可以通过退火、淬火、回火等热处理来改变它们内部的结构而达到预期的性能，冷轧硅钢片经过复杂的加工工序能使晶粒按一定取向排列而大大减少铁损。飞机发动机的叶片可以通过铸造的凝固控制做成单晶体叶片，使之没有晶粒边界，大大提高它的使用温度和性能，光纤不仅要拉成微米级的细丝，而且要控制光纤从内到外的折射率的分布，等等。有时候可以说没有一种合成加工上的新的突破，就没有某一种新材料。如有了快速冷却的加工方法，才有了非晶态的金属合金。

三、作图题

17．**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。**

【答案】如图所示。



图

18．**标出界线的性质(共熔界线用单箭头，转熔界线用双箭头)。**

【答案】见图 1。

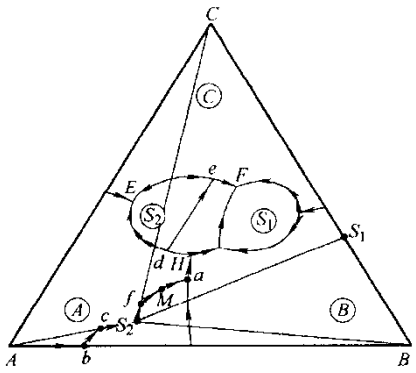


图 1

四、综合分析题

19．**分析含 Fe-0.4%C 合金平衡结晶过程，指出室温时的相组成和组织并计算组织中珠光体的含量。**

【答案】当 C%=0.4%,Fe-C 合金冷却至室温时：

相组成物：$\alpha + Fe_3C$

组织组成物：$P + \alpha$

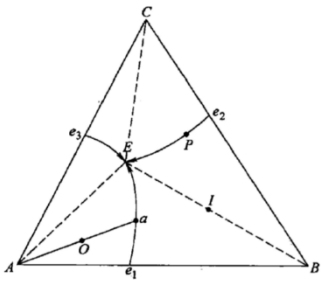
组织中珠光体的含量：

$$P\% = [(0.4 - 0.0218)/(0.77 - 0.0218)] \times 100\% = 50.55\%$$

20．**A、B、C 三组元固态完全不互溶，图为其三元相图投影图。已知合金 O 的成分为 $w_A = 80\%$，$w_B = 10\%$，$w_C = 10\%$，a 点的成分为 $w_A = 60\%$，$w_B = 20\%$，$w_C = 20\%$，E 点的成分为 $w_A = 50\%$，$w_B = 10\%$，$w_C = 40\%$。**

(1)简要写出合金 O 的结晶过程和室温平衡组织。

(2)计算室温下合金 O 的组织组成物的相对含量。



图

【答案】(1)合金 O 加热到液相面温度以上后，缓慢降温，首先遇到液相面Ae_1Ee_3A，开始结晶出初晶 A，这时液相的成分等于合金成分，两相平衡相连接线的投影是 AO 线。继续冷却时，不断析出初晶 A，液相中 A 组元的含量不断减少，B、C 组元的含量不断增加，液相成分沿 AO 的延长线变化。当液相成分到达 a 点时，开始发生三相共晶转变，$L\rightarrow A+B$。此后在温度继续下降时，液相中不断凝固出两相共晶(A+B)，液相成分沿 aE 线变化，直到 E 点发生四相共晶转变$L\rightarrow A+B$+C。在略低于 E 点温度凝固完毕，不再发生其他转变。故合金在室温下的平衡组织为 A+(A+B)+(A+B+C)。

(2)作$aD//BC$，$OF//BC$，$aM//AB$，$EN//AB$，延长 Ea 交 AB 于 q。

$$w_A=\frac{Oa}{Aa}=\frac{DF}{AD}=\frac{(100-60)-(100-80)}{100-60}\times 100\%=50\%$$

$$w_{A+B}=\frac{Ea}{Eq}(1-w_A)=0.5\times\frac{MN}{AN}\times 100\%=0.5\times\frac{40-20}{40}\times 100\%=25\%$$

$$w_{A+B+C}=1-w_A-w_{A+B}=25\%$$

21．**试分析在面心立方金属中，位错的柏氏矢量为$b_1=\frac{a}{2}[10\bar{1}]$，$b_2=\frac{a}{6}[\bar{1}21]$，$b_3=\frac{a}{3}[1\bar{1}\bar{1}]$。位错反应$b_1+b_2=b_3$能否进行，并指出其中 3 个位错分别是什么类型的位错，反应后生成的位错能否在滑移面上运动。**

【答案】几何条件：$\vec{b}_1+\vec{b}_2=\frac{a}{2}[10\bar{1}]+\frac{a}{6}[\bar{1}\bar{2}1]=\frac{a}{3}[1\bar{1}\bar{1}]$，$\vec{b}_3=\frac{a}{3}[1\bar{1}\bar{1}]$，满足几何条件；

能量条件：反应后$|\vec{b}_3|^2=\frac{a^2}{9}\times(\sqrt{1+1+1})^2=\frac{a^2}{3}$

反应前$\sum_i|\vec{b}_i|^2=\frac{a^2}{4}\times(\sqrt{1+0+1})^2+\frac{a^2}{36}\times(\sqrt{1+4+1})^2=\frac{2a^2}{3}$ >反应后$|\vec{b}_3|^2$；满足能量条件，

反应$\vec{b}_1+\vec{b}_2\rightarrow\vec{b}_3$可以进行。$\vec{b}_1$:单位位错；$\vec{b}_2$：肖克莱不全位错；$\vec{b}_3$：弗兰克不全位错。

面心立方金属滑移面为$\{111\}$，$\vec{b}_3$垂直该晶面，故不能滑移。

【冲刺】2024年北京大学080501材料物理与化学《850材料综合之材料科学基础》考研仿真模拟5套卷（三）

说明：本书按照考试大纲、历年真题、指定参考书等公开信息潜心整理编写，由学长严格审核校对，仅供考研备考使用，与目标学校及研究生院官方无关，如有侵权请联系我们立即处理。

一、计算题

1. **CaF_2密度$\rho=3.18\ g/cm^3$，晶格常数a=0.5463nm,已知Ca和F的相对原子量分别为40.08和19.00,试求CaF_2单位晶胞内所含肖特基空位数目。**

【答案】为保持电中性，CaF_2离子晶体中，每形成一个肖特基缺陷时，必须同时失去一个Ca^{2+}和两个F^-。

设单位晶胞内所含的肖特基缺陷数为x个，则

$$\rho=\frac{(4-x)(40.08+19\times2)/6.023\times10^{23}}{5.463^3\times10^{-24}}\approx3.18\ (g/cm^3)$$

所以

$$x=4-\frac{6.023\times10^{23}\times3.18\times5.463^3\times10^{-24}}{40.08+19.00\times2}\approx6.10\times10^{-4}\text{个}$$

2. **面心立方结构金属Cu的对称倾侧晶界中，两正刃型位错的间距D=1000nm,假定刃型位错的多余半原子面为(110)面，$d_{110}=0.127\ 8$ nm，求该倾侧晶界的倾角θ。**

【答案】面心立方结构的单位位错为$b=\frac{a}{2}\langle110\rangle$，由于{110}面有附加原子面，故

$$b=2d_{110}=2\times0.127\ 8=0.255\ 6\ \text{nm}$$

由公式$D\approx\frac{b}{\theta}$可求出该倾侧晶界的倾角θ

$$\theta\approx\frac{b}{D}=\frac{0.255\ 6}{1\ 000}=2.556\times10^{-4}\times\frac{180}{\pi}\approx0.014\ 6^\circ$$

3. **请导出摩尔分数为x_A、x_B的二元系中的综合扩散系数D与分扩散系数D_A、D_B之间的关系。**

【答案】如图所示，引入两个平行的坐标系：一个是固定坐标系Oxy；一个是坐落在晶面上同晶面一起运动的坐标系$O'x'y'$。D_A和D_B分别表示组元A和B的分扩散系数，D为综合扩散系数。

相对于动坐标系，A、B的本征扩散通量分别是J_{A1}、J_{B1}，即

$$J_{A1}=-D_A\frac{\partial C_A}{\partial x}$$

$$J_{B1}=-D_B\frac{\partial C_B}{\partial x}$$

由于$J_{B1}>J_{A1}$，高熔点一侧有流体静压力，则各晶面连同动坐标系会沿x方向平移，相对于固定坐标系，增加了方向相同的两个附加通量C_Av和C_Bv，所以对固定坐标系，总通量为

$$J_A=J_{A1}+C_Av=-D_A\frac{\partial C_A}{\partial x}+C_Av=-D\frac{\partial C_A}{\partial x}\qquad(1)$$

$$J_B=J_{B1}+C_Bv=-D_B\frac{\partial C_B}{\partial x}+C_Bv=-D\frac{\partial C_B}{\partial x}\qquad(2)$$

式中，v为x处晶面的平移速度；C_A、C_B分别为x处A组元和B组元的浓度。式(1)和式(2)后面等号成立的依据为菲克第一定律。

根据扩散中晶体各点密度不变的条件，有

$$C_A(x)+C_B(x)=\text{常数}$$

所以

$$\frac{\partial C_A}{\partial x} = -\frac{\partial C_B}{\partial x}$$

消去 v，得

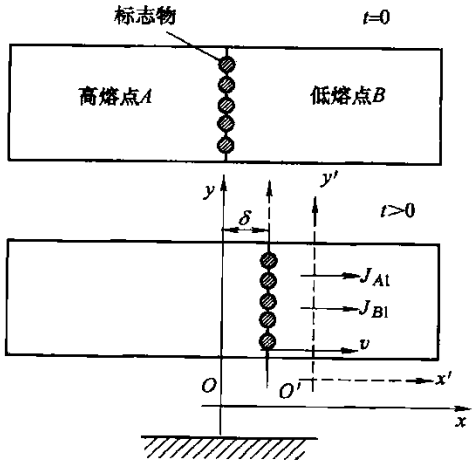
$$(C_A D_B + C_B D_A)\frac{\partial C_A}{\partial x} = D(C_A + C_B)\frac{\partial C_A}{\partial x}$$

$$\frac{C_A}{C_A + C_B} D_B + \frac{C_B}{C_A + C_B} D_A = D$$

即

$$x_A D_B + x_B D_A = D$$

式中，x_A和x_B分别是 A、B 组元在合金中的摩尔分数。



图

4. **已知工业纯铜的屈服强度 $\sigma_s = 70\text{MPa}$，其晶粒大小为 $N_A = 18$个/mm^2；当 $N_A = 4025$ 个/mm^2 时，$\sigma_s = 95\text{MPa}$；试计算$N_A = 260$ 个/mm^2时屈服强度σ_s的值。**

【答案】晶粒大小与屈服强度之间的关系满足 Hall-Petch 公式，即

$$\sigma_s = \sigma_0 + Kd^{-1/2}$$

由等面积圆直径表示晶粒尺寸，即

$$d = (8/3\pi/N_A)^{1/2}$$

$$d_1 = (8/3\pi/18)^{1/2} = 0.22\text{mm}$$

$$d_2 = (8/3\pi/4025)^{1/2} = 1.45 \times 10^{-2}\text{mm}$$

$$d_3 = (8/3\pi/260)^{1/2} = 5.71 \times 10^{-2}\text{mm}$$

于是

$$\sigma_{s1} = \sigma_0 + Kd_1^{-1/2},\ \sigma_{s2} = \sigma_0 + Kd_2^{-1/2}$$

代入

$$\sigma_{s1} = 70\text{MPa},\ \sigma_{s2} = 95\text{MPa}$$

求出

$$K = 0.13\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2},\ \sigma_0 = 61.3\text{MPa}$$

故

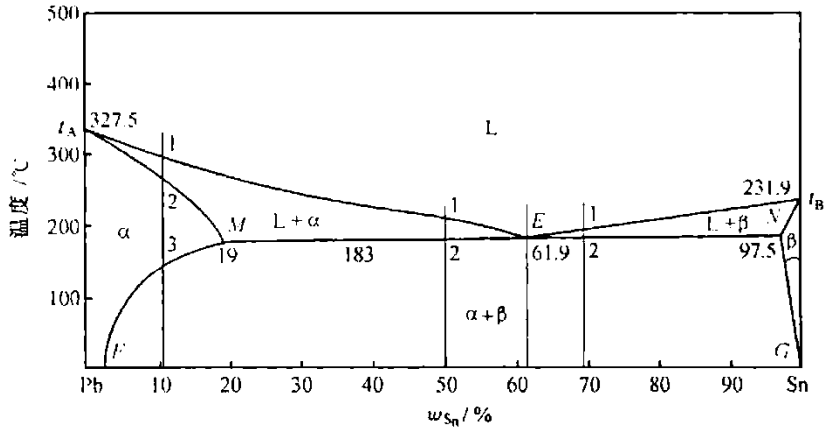
$$\sigma_s = 78.3\text{MPa}$$

5. **根据图所示的 Pb-Sn 相图：**

(1)画出成分为 $w_{Sn} = 50\%$合金的冷却曲线及其相应的平衡凝固组织。

(2)计算该合金共晶反应后组织组成体的相对量和组成相的相对量。

(3)计算共晶组织中两相体积相对量，由此判断两相组织为棒状还是为层片状形态。



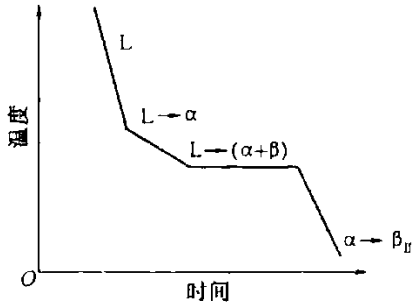
在计算中忽略 Sn 在α相和 Pb 在β相中的溶解度效应，假定α相的点阵常数为 Pb 的点阵常数；$a_{Pb}=0.390$ nm，晶体结构为面心立方，每个晶胞 4 个原子；β相的点阵常数为β－Sn的点阵常数：$a_{Sn}=0.583$ nm，$c_{Sn}=0.318$ nm，晶体点阵为体心正方，每个晶胞 4 个原子。Pb 的原子量为 207,Sn 的原子量为 119。

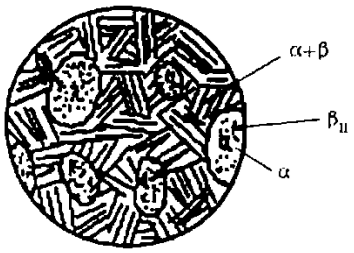
【答案】(1)合金的冷却曲线及凝固组织如图所示，室温平衡组织

$$\alpha_{初}+(\alpha+\beta)_{共}+\beta_{Ⅱ}$$

(2)合金发生共晶反应后的组织组成物为$\alpha_{初}$和$(\alpha+\beta)_{共}$，各自的相对量为

$$\alpha_{初}\%=\frac{61.9-50}{61.9-19}\times 100\%\approx 28\%$$





图

$$(\alpha+\beta)_{共}\%=1-\alpha_{初}\%=72\%$$

合金发生共晶反应后的相组成为α相和相，各自的相对量为

$$\beta\ \alpha\%=\frac{97.5-50}{97.5-19}\times 100\%=60.5\%$$

$$\beta\%=1-\alpha\%=39.5\%$$

(3)α相的晶胞体积为

$$V_1=a_{Pb}^3=0.390^3=0.059\ 3(\mathrm{nm}^3)$$

每个晶胞中有 4 个原子，每个原子占据的体积为

$$V=\frac{0.059\ 3}{4}=0.014\ 83\ (\mathrm{nm}^3)$$

β相的晶胞体积

$$V_2=a_{Sn}^2c_{Sn}=0.583\ 2^2\times 0.318=0.108\ 08\ (\mathrm{nm}^3)$$

每个晶胞 4 个原子，每个原子占据的体积为

$$V=\frac{0.108\ 08}{4}=0.027\ 02\ (\mathrm{nm}^3)$$

在共晶组织中，两相各自所占的质量分数分别为

$$\alpha_{共}\% = \frac{97.5-61.9}{97.5-19} \times 100\% = 45.35\%$$

$$\beta_{共}\% = 1-\alpha_{共}\% = 54.65\%$$

设共晶组织共有 100g,其中$\alpha = 45.35\ g, \beta = 54.65\ g$

α的体积为

$$V_\alpha = \frac{45.35}{207} \times N_A \times 0.014\ 83 = 0.003\ 25N_A$$

β的体积为

$$V_\beta = \frac{54.65}{119} \times N_A \times 0.027\ 02 = 0.012\ 41N_A$$

$$\frac{V_\alpha}{V_\alpha + V_\beta} = \frac{0.003\ 25N_A}{(0.003\ 25+0.012\ 41)N_A} = 20.75\%$$

即α相占共晶体总体积的 20.75%。由于α相所占体积分数小于 27.6%，在不考虑层片的界面能时，该共晶组织应为棒状。

6. **某金属单晶冷压 80%后，在 20 ℃停留 7 天后，性能回复到一定程度。若在100 ℃的时候，回复到相同的程度则需要保温 50min,求该金属的回复激活能。**

【答案】冷变型金属在不同温度下，回复到相同程度所需要的时间 t 与回复温度 T 的关系为

$$\ln t = C + \frac{Q_R}{R} \cdot \frac{1}{T} \qquad (1)$$

其中 C 为常数，Q_R回复激活能，R 为气体常数。则

$$\ln t_1 - \ln t_2 = \frac{Q_R}{R}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$$

$$\ln \frac{t_1}{t_2} = \frac{Q_R}{R}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$$

$$Q_R = \frac{R \cdot \ln \frac{t_1}{t_2}}{\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)}$$

令$T_1 = 273 + 20 = 293\ K$，$t_1 = 7 \times 24 \times 60 = 10\ 080\ min$；$T_2 = 273 + 100 = 373\ K, t_2 = 50\ min$;则

$$Q_R = \frac{8.31 \ln \frac{10\ 080}{50}}{\frac{1}{293} - \frac{1}{373}} \approx 6.04 \times 10^4 (J/mol)$$

7. **将一根长 20m,直径 14.0mm 铝棒，通过孔径 12.7mm 的模具拉拔，求:**

(1)这根铝棒拉拔后的尺寸；

(2)这个铝棒承受的工程线应变和真应变。

【答案】(1)由于拉拔前后体积不变，即$F_0 \cdot L_0 = F \cdot L$，故

$$\frac{\pi(14.0)^2}{4} \cdot 20 \times 10^3 = \frac{\pi(12.7)^2}{4} \cdot L$$

所以$L = 24.3 \times 10^3\ mm = 24.3\ m$

(2)工程应变$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} = 21.5\%$

真应变$e = \ln \frac{L}{L_0} = \ln \frac{24.3}{20} = 19.47\%$

8. **已知锡具有体心正方点阵，其点阵常数 a=b=0.58nm,c=0.32nm。试证明:**

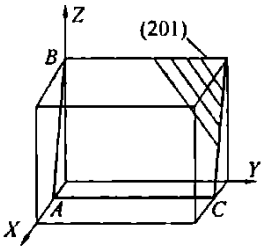
(1)(201)晶面不垂直于[201]晶向；

(2)求出与(201)晶面垂直的晶向。

【答案】(1)建立如图所示晶轴坐标，以点阵常数为单位长度。(201)面如图所示，在(201)面上任意取一晶向，如果取$\boldsymbol{AB}=[\bar{1}02]$，只要证明$[\bar{1}02]\cdot[201]\neq 0$即可。

$$[\bar{1}02]\cdot[201]=-2(0.58)^2+2(0.32)^2=-0.468\neq 0$$

故[201]不垂直于(201)面上的$[\bar{1}02]$晶向，即不垂直于(201)面。



图

(2)参考上图，AB×AC 可以得出与(201)面垂直的晶向，$\boldsymbol{AB}=[\bar{1}02]$；AC=[010]。

$$\begin{vmatrix} i & j & k \\ -5.8 & 0 & 6.4 \\ 0 & 5.8 & 0 \end{vmatrix}=-0.58\times 0.58\boldsymbol{k}-0.58\times 0.64\boldsymbol{i}$$

所求晶向为

$$[hkl]=\left[\frac{0.371\,2}{0.58}\quad 0\quad \frac{0.336\,4}{0.32}\right]=[0.64\quad 0\quad 1.051\,25]$$

二、简答题

9. **试比较 45、T8、T12 钢的硬度、强度和塑性有何不同?**

【答案】由含碳量对碳钢性能的影响可知，随着钢中碳含量的增加，钢中的渗碳体增多，硬度也随之升高，基本上呈直线上升。在$w_C=0.8\%$以前，强度也是呈直线上升的。在$w_C=0.8\%$时，组织全为珠光体，强度最高;但在$w_C>0.8\%$以后，随碳量的继续增加，组织中将会出现网状渗碳体，致使强度很快下降;当$w_C\geqslant 2.11\%$后,组织中出现共晶莱氏体，强度将很低。而塑性是随碳量增加而单调下降的，在出现莱氏体后，塑性将几乎降为零。

所以，综上所述,T12 的硬度最高,45 钢的硬度最低;T12 的塑性最差,45 钢塑性最好; T8 钢均居中，而 T8 钢的强度最高。

10. **三元相图的垂直截面与二元相图有何不同？为什么二元相图中可应用杠杆定律而三元相图的垂直截面中却不能?**

【答案】两者最本质的区别是，二元相图是二元系相平衡的图解，它直接反应二元系的相平衡关系，而三元相图的垂直截面只是特定截面与三元相图的交截图，它一般不反映三元系的相平衡关系，因此前者中可用杠杆定律计算二元系相平衡反应的各相相对量，后者则不能。但如果垂直截面正好通过纯组元-稳定化合物或稳定化合物-稳定化合物成分点的连续(如 $SiO_2-Al_2O_3$相图是 Si-Al-O 相图的一个垂直截面)，在这种垂直截面图上，稳定化合物相当于一个组元存在，垂直截面图反映三元系中的相平衡关系。在图上可以用杠杆定律计算相平衡转变时的各相相对量。

11. **改善陶瓷脆性的途径有哪些？试说明机理。**

【答案】改善陶瓷脆性的途径有:

①降低陶瓷的微裂纹尺寸 $\sigma=\frac{K_{IC}}{\sqrt{a\pi}}$，$K_{IC}$是材料固有的性能。由上式可知，断裂强度$\sigma$与裂纹尺寸的平

方根成反比(a 为裂纹尺寸之半),裂纹尺寸越大，断裂韧性越低。所以提高K_{IC}的方法是:获得细小晶粒，防止晶界应力过大产生裂纹，并可降低裂纹尺寸。此外降低气孔所占分数，降低气孔尺寸也可提高强度。

②相变增韧:假设在不受外力作用时，其组织为正方相ZrO_2颗粒分布在立方相ZrO_2基体上。在外力作用下，裂纹尖端的正方相变为单斜相。发生这种转变时,一方面由于裂纹尖端储存的弹性能转化为相变时所消耗的功，使裂纹尖端的应力集中松弛下来,从而使裂纹停止扩展或扩展缓慢，另一方面，正方相转变为单斜相时将发生体积膨胀，使周围的基体受到压缩，这也会促使裂纹闭合或缓慢扩展，这两方面的因素都会使陶瓷的断裂韧性增加。部分稳定ZrO_2陶瓷的韧性可达 9 $MPa\cdot m^{-1/2}$，这个数值已很接近铸铁和淬火高碳钢了。

③纤维补强:利用强度及弹性模量均较高的纤维，使之均匀分布于陶瓷基体中。当这种复合材料受到外加负荷时,可将一部分传递到纤维上去，减轻了陶瓷本身的负担，其次陶体中的纤维可阻止裂纹的扩展，从而改善了陶瓷材料的脆性。

12．**简述晶界和晶粒大小对多晶体范性变形的作用与影响。**

【答案】多晶中，每个晶粒与周围相邻晶粒取向不同，滑移开始的早晚不同，滑移系数目也不同；晶粒间的协调是靠有足够的独立滑移系的开动来实现的，即某一晶粒在一特定力轴作用下，取向因子大的滑移系先开动，当相邻晶粒相接触的区域受周围晶粒的影响而不能随自己主滑移系开动进行形变时，可开动次生的、新的滑移系，以协调各种复杂的形变方式；FCC/BCC 结构都有 5 个独立滑移系，可实现任一种方式的形变。晶界两侧滑移面不平行，晶界一方面是位错运动的障碍，造成塞积和强化；同时要求晶界附近多系滑移的出现，以协调晶界两侧的形变。晶粒大小对形变的影响是：晶粒细小，整个晶粒可较形变均匀，不同的滑移系组合少；晶粒粗大时，形变过程中晶内不同区域，不能相互协调，要求不同的滑移系组合并开动，常常出现晶粒“碎化”，即一个大晶粒，随形变的进行“碎化”成几部分，不同部分内有不同的滑移系开动。

对性能的影响遵循 Hall-Petah 关系$\sigma_s = \sigma_0 + Kd^{-1/2}$，即晶粒越细，晶界越多，晶界对运动位错阻碍越显著，提高强度幅度越大。

13．**按下列 5 条汇总 FCC 晶体中的主要位错:**

①位错名称；②柏式矢量；③位错性质(刃型、螺型、混合位错等)；④位错形成方式；⑤运动状态(滑移、攀移、还是不动等)。

【答案】见下表。

位错名称	柏式矢量	位错性质	位错形成方式	运动状态
全位错(在实际晶体中比较少见)	$\frac{1}{2}<110>$	螺型、刃型、混合型	局部滑移或者局部位移	可以滑移或攀移
Shockley 分位错	$\frac{1}{6}<112>$	螺型、刃型、混合型	只能通过晶体的局部滑移形成	即使是刃型分位错,也只能滑移不能攀移。即使是螺型分位错,也不能交滑移
扩展位错中的 Shockley 分位错	$\frac{1}{6}[112]$ $\frac{1}{6}[\bar{1}2\bar{1}]$	螺型、刃型、混合型	由全位错分解成的两条平行的 Shockley 分位错,之间是一个层错区	只能滑移。仅在束集之后可以攀移或者交滑移
Frank 分位错	$\frac{1}{3}<111>$	刃型	相当于在晶体中的局部区域插入一层或抽去一层{111}密排面而形成	只能攀移,不能滑移
L-C 不动位错(有多种组态)	例如$\frac{1}{6}[\bar{1}10]$	螺型、刃型、混合型	通过 Shockley 分位错合成(或位错反应)得到的	不能运动

14．**谈谈你对高强度材料的理解。**

【答案】对于结构材料，最重要的性能指标之一是强度。强度是指材料抵抗变形和断裂的能力，提高材料的强度可以节约材料，降低成本。人们在利用材料的力学性能时，总是希望所使用的材料具有足够的强度，人们希望合理运用和发展材料强化方法，从而挖掘材料性能潜力的基础。

从理论上讲，提高金属材料强度有两条途径：一是完全消除内部的位错和其他缺陷，使它的强度接近于理论强度。目前虽然能够制出无位错的高强度金属晶须，但实际应用它还存在困难，因为这样获得的高强度是不稳定的，对操作效应和表面情况非常敏感，而且位错一旦产生后，强度就大大下降。因而在生产实践中，主要采用另一条途径来强化金属，即在金属中引入大量的缺陷，以阻碍位错的运动，例如金属材料的强化手段一般有固溶强化、细晶强化、第二相粒子强化、形变强化等。综合运用这些强化手段，也可以从另一方面接近理论强度，例如在铁和钛中可以达到理论强度的 38%。一些新型高强铝合金，如 Al-Li 合金、Al-Cu-Mg 系合金和 Al-Zn-Mg 系合金以及高 Zn 含量 Al-Zn-Mg 合金、Al-Mg-Sc 系合金、Al-Zn-Mg-Sc 系合金、铝基复合材料等，应用各种强化方法均获得了很高的强度和其他综合性能。

15．**为什么合金钢比碳钢的力学性能好?热处理变形小?合金工具钢的耐磨性、热硬性比碳钢高?**

【答案】(1)合金元素加入后并经适当热处理，可使钢的力学性能提高或得以改善。(2)合金元素(除 Co 外)加入后使钢的淬透性增加，因此获得同样组织时合金钢可选择较缓的冷却介质，故热处理变形小。(3)合金工具钢由于含有一些合金元素，与钢中的碳形成合金碳化物，而这些合金碳化物的硬度高、熔点高，所以合金工具钢的耐磨性、热硬性比碳钢高。

16．**面心立方金属单晶体沿[001]拉伸可有几个等效滑移系同时启动？沿[111]拉伸可有几个等效滑移系同时启动？并具体写出各滑移系的指数。**

【答案】根据“映象规则”，利用立方晶体的 001 标准投影，可知当 FCC 结构的晶体沿[001]轴拉伸时，其等效滑移系共有 8 个，分别是：$(111)[0\bar{1}1]$、$(111)[\bar{1}01]$、$(\bar{1}11)[0\bar{1}1]$、$(\bar{1}11)[101]$、$(\bar{1}\,\bar{1}1)[101]$、$[\bar{1}\,\bar{1}\,1][011]$、$(1\bar{1}1)[\bar{1}01]$、$(1\bar{1}1)[011]$。当 FCC 结

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：https://d.book118.com/708113036001006101