

01.年专业课试题答案

一、概念题

1. 相：体系中具有相同物理与化学性质的、且与其他部分以界面分开的均匀部分，称为相。
2. 成分过冷：在合金凝固过程中，由于凝固界面前沿熔体中溶质浓度变化引起熔体升高之后的过冷现象叫成分过冷。
3. 伪共晶：由非共晶成分的合金在非平衡凝固条件下所得到共晶组织称为伪共晶。
4. 滑移：滑移不是晶体一部分相对另一部分沿着滑移面作刚性整层位移，而是借助位错在滑移面上运动来逐步地进行的。
5. 再结晶：冷变形金属加热到一定温度之后，在原变形组织中重新产生了无畸变的晶粒，而性能也发生了明显变化并恢复到变形前的状况，这个过程称为再结晶。

二、对比说明下列概念的异同。

1. 刃型位错：刃型位错有额外半原子面，其位错线不一定是直线，也可以是折线或曲线，但位线与滑移方向垂直，也垂直于滑移矢量，滑移面只有一个，刃型位错既有切应变，又有正应变。
螺型位错：螺型位错无额外半原子面，其位错线与滑移矢量平行，一定是一直线，位错线运动方向与晶体滑移方向垂直。
2. TTT曲线反映了过冷奥氏体在不同过冷度下的等温转变过程。
CCT曲线反映了在连续冷却条件下过冷奥氏体的转变规律。
3. 自扩散：不依赖于浓度梯度，仅由热振动而引起的扩散，称为自扩散。
上坡扩散：物质从低浓度区向高浓度区扩散，扩散的结果提高了浓度梯度，这种扩散称为上坡扩散。
- 互扩散：一种金属中的原子向另一种金属中的扩散称为互扩散。

三、计算题

1. 体心立方晶胞中晶格常数为 a ，计算出体心立方晶胞中的原子半径 r 与致密度 k 。

$$\sqrt{3}a = 4r, r = \frac{\sqrt{3}}{4}a$$

$$\text{体心立方晶胞中的原子数 } n = 8 \times \frac{1}{8} + 1 = 2$$

$$k = \frac{n \times \frac{4}{3} \pi r^3}{a^3} = \frac{2 \times \frac{4}{3} \pi \times (\frac{\sqrt{3}}{4}a)^3}{a^3} = 0.68$$
2. 根据Fe-Fe₃C相图计算共析转变产物中的铁素体和渗碳体的含量。

$$W_{\alpha} = \frac{6.69 - 0.77}{6.69 - 0.0218} \times 100\% = 88.8\%$$

$$W_{Fe_3C} = 1 - W_{\alpha} = 11.2\%$$

五、根据铁-Fe₃C相图分析含碳量对铁碳合金平衡组织和力学性能的影响。不同含碳量区间合金在室温下的组织如下：

① $0 \sim 0.0218\%$: $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$; ② $0.0218 \sim 0.77\%$: $\alpha + \text{P}$; ③ $0.77 \sim 2.11\%$: $\text{P} + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$.

④ $2.11 \sim 4.3\%$: $\text{P} + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}} + \text{L}'_d$, ⑤ $4.3 \sim 6.69\%$: $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}} + \text{L}'_d$

a. 含碳量对力学性能的影响，主要是通过改变显微组织及其组织中各组成相的相对量来实现的。铁碳合金的室温平衡组织均由铁素体和渗碳体两相组成。

b. 铁素体是塑性相，渗碳体是硬脆相。珠光体是由 α 和 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$ 组成的层片状的机械混合物。

c. 珠光体的强度比铁素体高，比渗碳体低，而且珠光体的强度随其层片间距减小而提高，它的塑性和韧性比铁素体低，但比渗碳体高。

d. 在钢中渗碳体是一强化相。如果合金的基体是铁素体，随含碳量的增加，渗碳体越多，则合金的强度越高。但若渗碳体这种脆性相分布在晶界上，特别是形成连续的网状分布时，则合金的塑性、韧性显著下降。当渗碳体为基体时如在白口铁中，则合金硬而脆。

八、试述金属经塑性变形后对组织结构和金属性能的影响。

1) 对组织结构的影响

a. 显微组织的变化

经塑性变形后，除原来的晶粒沿其变形方向伸长，当变形量很大时，出现纤维组织。

b. 亚结构的变化

经一定量的塑性变形后，晶粒中的位错交互作用，形成位错缠结，进一步增大变形度时，由缠结的位错组成胞状亚结构。

2) 对性能的影响

a. 加工硬化

金属材料经塑性变形后，强度、硬度显著提高，而塑性、韧性下降，即产生了加工硬化现象。

b. 由于塑性变形后，空位和位错等结构缺陷增加，金属的电阻率增加。

c. 塑性变形后，金属的电阻温度系数下降，磁导率下降，热导率也有所下降。

d. 由于塑性变形使得金属中的结构缺陷增多，自由焓升高，金属的化学活性增大，腐蚀速度也加快。

3) 织构

在塑性变形中，随着变形程度的增加，各晶粒的晶粒面和滑移面都要向变形方向转动，逐渐使各晶粒中原来的取向互不相同的各晶粒在空间取向上呈现一定程度的规律性，这一现象称为择优取向，这种择优取向的组织状态则称为织构。

4) 残余应力

残余应力是一种内应力，它在工件中处于自相平衡状态，其产生是由于工件内部各区域变形的不均匀性、以及相互间的牵制作用所致。

九、简述金属固态相变的特征和类型。

(一) 固态相变的特征

- 1) 相变阻力大
固态相变时形核的阻力来自新相与基体间形成界面所增加的界面能和体积应变能，与液-固和固-固相变相比，固态相变的阻力大得多。
- 2) 原子迁移率低
由于固态中的原子键合远比液态中牢固，所以其扩散速度远比液态的低。固态原子的扩散系数小，其原子的迁移率就低。
- 3) 相界面
固态相变时，新旧两相之间要形成界面。
- 4) 位向关系
固态相变时，为了减少新、旧两相之间的界面能，两种晶体之间往往存在一定的位向关系，它们常以低指数的原子密度大而彼此匹配较好的晶面互相平行。
- 5) 惯习面
固态相变时，新相往往在母相的某一晶面上开始形成，这个晶面称为惯习面。
- 6) 非均匀形核
固相中的形核几乎都是非均匀的。

- ### (二) 固态相变的类型
- 按相变方式分，固态相变可分为形核长大型转变（不连续型或非均匀转变）和连续型转变（均匀转变）两大类：
- a. 形核长大型相变：其主要特征是在转变过程中存在着不连续的分界面，而且转变主要发生在两相的分界面上，这种转变是通过形核-长大方式进行的。
 - b. 连续型转变：这种转变是在母相的整个体积中同时发生，其反应是均匀的，这种转变实际上只有长大过程而没有形核过程。

- ### 十、晶界长大的特征：
- 1) 晶界长大方式：粗糙界面一般为连续长大，光滑界面一般为二维晶核长大方式或螺旋型长大方式。
 - 2) 晶界长大形态：主要受温度梯度影响。
 - a. 正温度梯度，固液界面保持平直状；
 - b. 负温度梯度：晶界生长为树枝晶状生长。

02年专业课试题答案

一、名词解释

1. 置换固溶体: 溶质原子占据溶剂点阵的阵点所形成的固溶体称为置换固溶体。
间隙固溶体: 溶质原子分布于溶剂晶格间隙而形成的固溶体称为间隙固溶体。
2. 晶界: 多数晶体物质由许多晶粒所组成, 属于同一固相但位向不同的晶粒之间的界面称为晶界, 它是一种内界面。
亚晶界: 有时一个晶粒由若干个位向稍有差异的亚晶粒所组成, 相邻亚晶粒之间的界面称为亚晶界。
3. 凝固: 通常, 材料从液态到固态的转变过程称为凝固。
结晶: 结晶是指物质从液态转变为具有晶体结构固相的过程。
4. 共析转变: 在某一温度下, 由一定成分的固相同时转变为两个不同成分固相的反应称为共析转变。
共晶转变: 在一定温度下, 由一定成分的液相同时转变为两个不同成分固相的反应, 称为共晶转变。
5. 滑移带: 将经良好抛光的单晶金属棒试样进行适当的拉伸, 使之产生一定的塑性变形, 即可在金属棒试样表面见到一条条的细线, 通常称为滑移带。
滑移系: 一个滑移面和此面上的一个滑移方向合起来叫做一个滑移系。
6. 脆性断裂: 在发生断裂前没有任意的预先的塑性变形发生, 并且断裂的速度较快。
塑性断裂: 又称延性断裂, 断裂前发生大量的宏观塑性变形, 且断口存在一定程度的缩颈现象。
7. 再结晶: 冷变形后的金属加热到一定温度之后, 在原变形组织中重新生长出新的晶粒, 而性能也发生了明显的变化并恢复到变形前的状况, 这个过程称为再结晶。
二次再结晶: 即异常晶粒长大, 是一种特殊的晶粒长大现象, 表现为少数晶粒突发性的不均匀长大。
8. 第一类回火脆性: 钢在250~400℃温度范围内出现的回火脆性称为第一类回火脆性, 也称低温回火脆性, 第一类回火脆性是不可逆的。
第二类回火脆性: 钢在450~650℃温度范围内出现的回火脆性称为第二类回火脆性, 也称高温回火脆性, 第二类回火脆性是可逆的。
9. 上贝氏体: 通常在贝氏体转变区较高温度范围内形成的贝氏体称为上贝氏体, 它是由铁素体和渗碳体两相组成的机械混合物, 呈羽毛状。
下贝氏体: 它是在贝氏体转变区较低温度范围内形成的, 由含碳过饱和的铁素体和片状铁素体及其内部析出的微细ε-碳化物组成, 呈黑色针状。
10. 晶界生长: 光滑晶界: 在光滑晶界面处液固两相原子存在明显的边界, 从微观上看光滑晶界面是光滑的, 但在宏观上它往往由不同位向的小平面所组成, 故呈台阶状折线特征, 故也称小平面晶界。
粗糙晶界: 在晶界面处固、液两相原子分布较为混杂而无明显的边界存在几个原子层厚度的过渡层, 其中约有半数的位置为固相原子所占据, 从微观上晶界面呈高低不平。

三、试比较均匀形核与非均匀形核的异同点，并说明为什么均匀形核比非均匀形核困难。
均匀形核，在母相中依靠自身的结构变化均匀自发地形成核心，即在液相中各个区域出现新相晶核的几率都是相同的，是无择优位置的形核。
非均匀形核，新相优先在母相中存在的异质处形核，即依附于液相中的杂质或外来表面上形核。

相同点：都需要一定的过冷度。

不同点：(1) 非均匀形核的形核功小于均匀形核的形核功；

(2) 非均匀形核所需过冷度较均匀形核小；

(3) 非均匀形核的临界晶核尺寸较均匀形核小。

因为非均匀形核是在杂质或相壁上形核，可减少单位面积的表面能，在较小过冷度下形核，并且使均匀形核时临界晶核的原子数较均匀形核少，所以非均匀形核较均匀形核容易。

四、影响扩散的因素有哪些。

1) 温度。随着温度升高，扩散系数急剧增大。

2) 压力。一般是增加压力使扩散激活能增加，有利于扩散进行。但对于凝聚态材料，除在非常高的压力之下外，压力的影响不大。

3) 化学成分。a. 组元本性：一般组元间原子尺寸相差愈大， D 愈小，而值愈大；组元性相差越大，溶解度愈小，元素扩散愈容易进行。b. 组元浓度。c. 第三组元的影响，它可能促进扩散，也可能阻碍扩散。

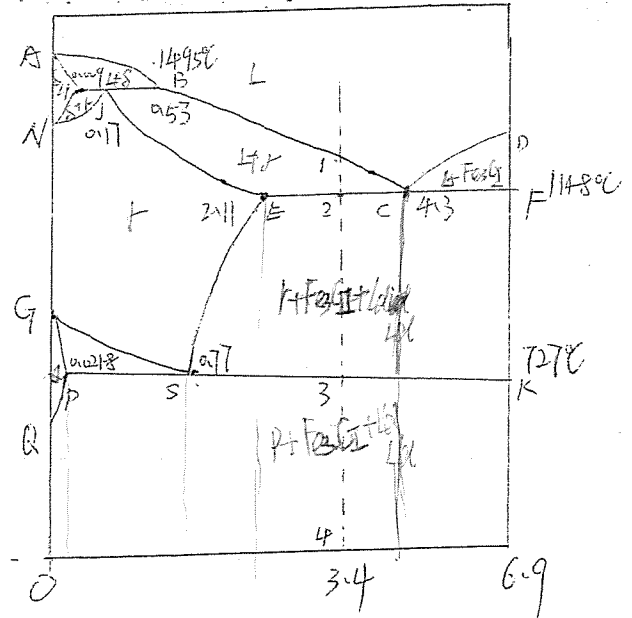
4) 材料的结构。a. 固溶体类型，间隙原子比置换原子的扩散容易；b. 晶界结构，在致密度小的晶界结构中扩散较容易；晶界的有序性越低，扩散各向异性越显著。

5) 晶界缺陷。晶界表面和位错对扩散起着快速通道的作用，这是因为晶界与缺陷处能量较高，晶内晶界表面的扩散系数依次增加。

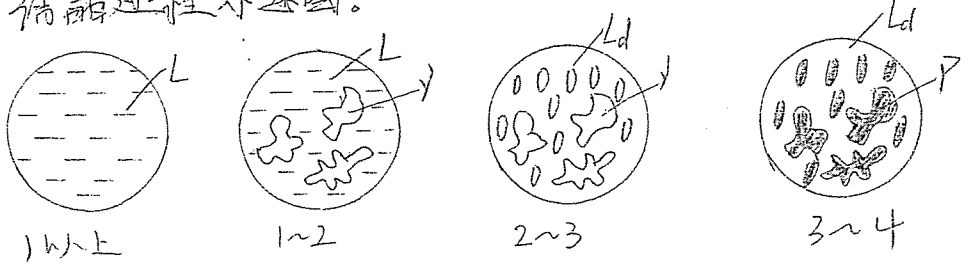
6) 应力的作用。如果材料内部存在应力梯度，应力就会提供原子扩散的驱动力，有利于扩散进行。

五、结晶过程:

- ① 合金从液相冷却到1复, 开始析出 γ , 1~2之间 γ 不断增多, 液相不断减少;
- ② 冷却至2复时, γ 的成分到达E, 液相的成分到达C, 开始从液相中析出 γ 和 Fe_3C , 即莱氏体, 直至液相完全耗尽, 共晶转变结束.
- ③ 在2~3之间, 不断从 γ 晶界析出 Fe_3C ,
- ④ 冷却至3复时, γ 的成分到达S复, 开始共析转变, 从 γ 中析出 $\alpha + Fe_3C$, 即P, 直至 γ 完全耗尽, 共析转变结束.
- ⑤ 在3复以下, 从 α 中析出 Fe_3C (II), 由于数量极少可忽略不计.
- ⑥ 室温下的相组成物为 $\alpha + Fe_3C$, 组织组成物为P + Fe_3C (II) + L_d .

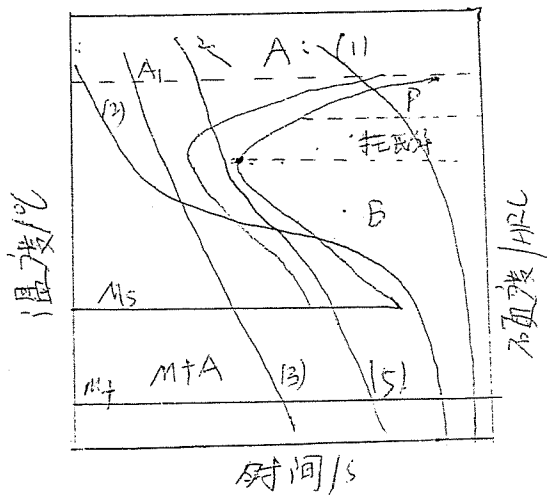


结晶过程示意图.



(1) $w_{\gamma} = \frac{4.3 - 3.4}{4.3 - 2.11} \times 100\% = 41.1\%$, $w_{L_d} = 1 - w_{\gamma} = 58.9\%$

(2) $w_{Fe_3C(II)} = \frac{3.4 - 0.77}{6.69 - 0.77} \times 100\% = 44.4\%$, $w_{\gamma} = 1 - w_{Fe_3C(II)} = 55.6\%$



03年专业课试题答案

一、概念解释

1、共晶转变：在一定温度下，由一定成分的液相同时结晶出两个不同成分的固相的反应，称为共晶转变。

匀晶转变：由液相结晶出单相固溶体的过程称为匀晶转变。

2、空间点阵：空间点阵是晶阵中质点排列的几何学抽象，用以描述和分析晶阵结构的周期性和对称性，由于各阵点的周围结构相同，故它只能有4种。

晶阵结构：晶阵结构是指晶阵中实际质点（原子、离子或分子）的具体排列情况，它们能组成各种类型的排列，因此，实际存在的晶阵结构是无限多的。

3、滑移带：将经良好抛光的单晶金属棒试样进行拉伸，使之产生一定的塑性变形，即可在金属棒表面见到一条条的细线，通常称为滑移带，它是由一系列相互平行的更细的滑移线组成的。

位错的滑移：位错的滑移是在外加切应力的作用下，通过位错中心附近的原子沿伯氏矢量方向在滑移面上不断地作少量的位移（小于一个原子间距）而逐步实现的。

4、再结晶和动态再结晶

再结晶：将冷变形后的金属加热到一定温度之后，在原变形组织中重新产生了无畸变的新晶粒，而性能也发生了明显的变化并恢复到变形前的状况，这个过程称之为再结晶。

动态再结晶：热加工时，由于变形温度高于再结晶温度，故在变形的同时伴随着再结晶过程，形变产生的加工硬化与再结晶所引起的软化过程同时存在，为了与再结晶加以区分，称之为动态再结晶。

5、扩散：在晶阵中，原子在其平衡位置做热振动，并从一个平衡位置跳到另一个平衡位置，称为扩散。

上坡扩散：物质从低浓度区向高浓度区扩散，扩散的结果是高了浓度梯度，这种扩散称为上坡扩散。

6、马氏体转变：马氏体转变是一种无扩散相变，转变产物为马氏体，在转变过程中，新旧相界面保持严格的晶阵位向关系。

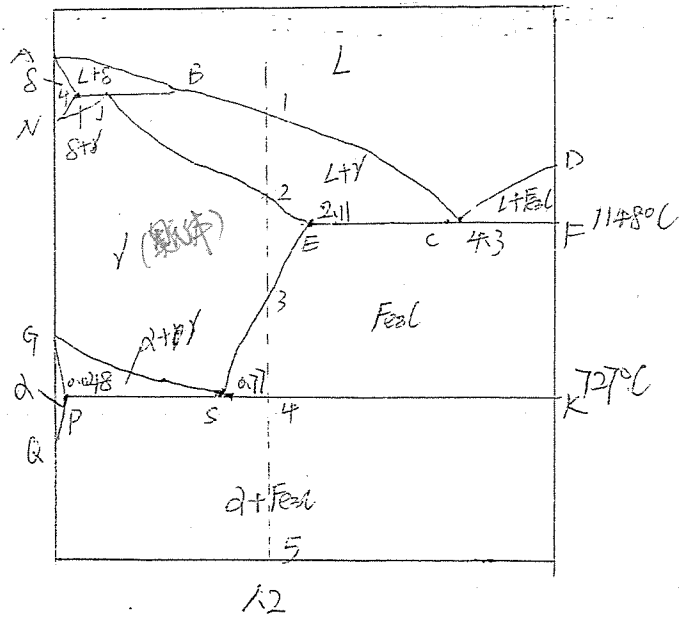
珠光体转变：珠光体转变是一种扩散型相变，转变产物为铁素体和渗碳体的混合物，即珠光体。

扩散：固相中的原子或分子，通过热运动而发生长程迁移，或宏观物质传输现象。

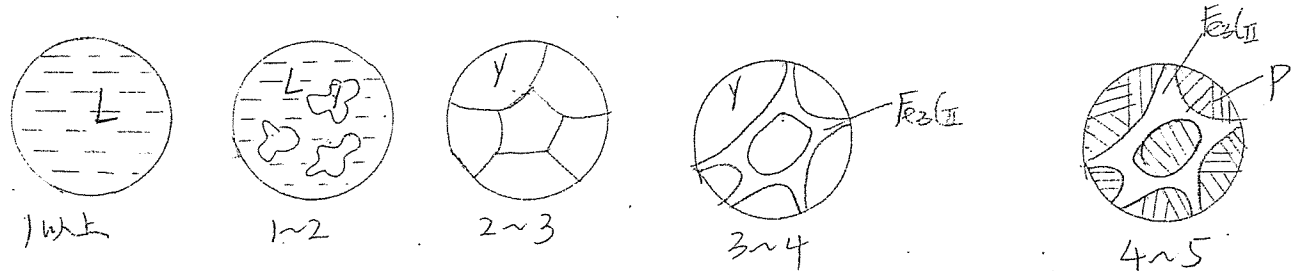
扩散是物质中原子或分子的迁移现象，是物质传输的一种方式。

二、结晶过程

- ① 当碳钢从液相冷却至1度时,开始析出 γ , 1~2之间为匀晶转变过程;
- ② 2度时,液相完全转变为 γ , 2~3之间为单相奥氏体区;
- ③ 冷却至3度时,开始奥氏体晶界析出二次渗碳体, 3~4之间奥氏体不断减少,二次渗碳体不断增加;
- ④ 冷却至4度时,奥氏体成分达到S度,开始共析转变,从奥氏体中析出 $\alpha + Fe_3C$,即珠光体;
- ⑤ 4度以下从铁素体中析出三次渗碳体,数量较少,可忽略不计;
- ⑥ 室温时组成相为 $\alpha + Fe_3C$,组织组成物为P + Fe_3C 。



结晶过程示意图:



三、比较说明均匀形核和非均匀形核的异同,说明非均匀形核比均匀形核容易的原因,探讨优良的形核剂应该具备的共同特征。

均匀形核是在母相中依靠自身的结构变化均匀自发地形成核心,即在液相中各个区域出现新相晶核的几率都是相同的,是无择优位置的形核。

非均匀形核,新相优先在母相中存在的异质处形核,即依附于液相中的杂质或外来表面上形核。

- 与均匀形核相比:
- (1) 非均匀形核的形核功小于均匀形核的形核功;
 - (2) 非均匀形核所需过冷度较均匀形核小;
 - (3) 非均匀形核的临界晶核尺寸较均匀形核小。

所以非均匀形核比均匀形核容易。

- 优良形核剂的特征:
- (1) 形核剂与晶核有相似的键合类型;
 - (2) 形核剂与晶核相接的彼此晶面有相似的原子配位和小的晶格错配度。

非均匀形核中,杂质或型壁促进了形核,在杂质或型壁上形核可以减少单位体积的表面能,从而需要较小的形核功,易于形核。

四、比较纯金属结晶过程和固溶体结晶过程中哪一个更容易结晶出树枝晶？为什么？对铸造组织有何影响？

固溶体结晶过程中更容易结晶出树枝状晶，原因如下：

a、纯金属要结晶出树枝状晶必须在负的温度梯度下。此时，晶界上母相的部分伸向前方，向液相中处于更大的过冷度下进一步生长以至使晶界不可能平面生长，形成许多伸向液面的分枝，同时在这些分枝上又长出二次晶枝，三次晶枝，最后使晶界呈树枝状。

b、固溶体结晶时，由于存在过冷，故不论是在正温度梯度，还是在负温度梯度下均可呈树枝状生长。

由于固溶体易结晶出树枝晶，使铸造组织出现三个不同的晶区，从外到内依次为表层细晶区、柱状晶区、中心等轴晶区。

六、说明金属塑性变形过程中产生加工硬化的原因。

金属材料在外力作用下发生塑性变形的过程中，由位错增殖机构产生了位错，形成胞状形变亚结构，使亚晶粒细化，提高了材料的强度。同时这些位错发生错，相互交割，一方面形成割阶，增大了位错的长度；另一方面可能形成另一种使位错难以运动的固定割阶。成为位错运动的障碍，提高金属变形的抗力，使材料的塑性、韧性下降。

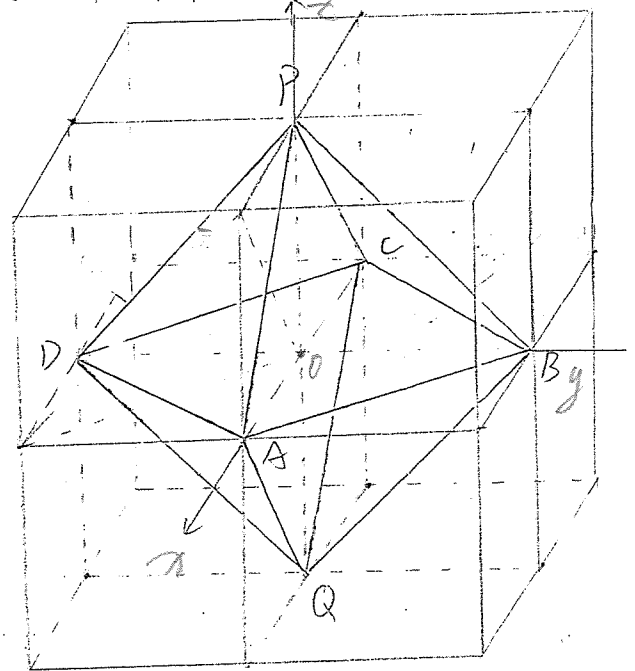
八、画出立方晶系 $\{111\}$ 晶面族示意图，写出该晶面族中各晶面的晶面指数。

PAB: (111), PCB: ($\bar{1}$ 11)

PCD: ($\bar{1}$ $\bar{1}$ 1), PDA: (1 $\bar{1}$ 1)

QAB: (11 $\bar{1}$), QBC: ($\bar{1}$ 1 $\bar{1}$)

QCD: ($\bar{1}$ $\bar{1}$ $\bar{1}$), QDA: (1 $\bar{1}$ $\bar{1}$)



九、比较说明珠光体转变和马氏体转变的异同。

相同点：二者都包含形核与长大过程；

不同点：(1) 珠光体转变为高温转变，马氏体转变为低温转变；

(2) 马氏体转变时新相与母相保持共格关系，表面产生浮凸，珠光体无共格关系；

(3) 珠光体转变过程中，Fe、C原子均发生扩散，马氏体转变过程中Fe、C原子均不发生扩散；

(4) 马氏体转变产物为硬在铁中的过饱和固溶体，呈板条状或片状，珠光体转变产物为铁素体+渗碳体，呈层片状；

(5) 马氏体转变产物比珠光体转变产物硬度大；

(6) 马氏体转变时有马氏体切变，珠光体转变无马氏体切变；

(7) 珠光体转变时合金元素通过扩散重新分布，马氏体转变过程合金元素无扩散。

04年专业课试题答案

一、概念

1.1 相起伏：液相中的原子排列长程无序、短程有序，并且短程有序集团不是固定不变的，它是一种此起彼伏，瞬息万变、尺寸不稳定的结构，这种现象就称为相起伏（或结构起伏）。

能量起伏：能量起伏是指体系中每个微小体积内实际具有的能量，会偏离体系平均能量水平而瞬时涨落的现象。

1.2 铁素体：碳原子溶于 α -Fe形成的固溶体，为体心立方结构。

铁素体魏氏组织：从奥氏体晶界生长出来的近于平行的或其他规则排列的针状铁素体及其间存在的珠光体组织，称为铁素体魏氏组织。

1.3 无序固溶体：溶质原子在溶剂晶阵中无序排列而形成固溶体。

有序固溶体：溶质原子存在于溶剂晶阵中的固定位置上，而且每个晶胞中的溶质和溶剂原子之比也是一定的，这样的固溶体称为有序固溶体。

1.4 共晶转变：在一定温度下，由一定成分的液相同时转变为两个不同成分固相的反应，称为共晶转变。

伪共晶转变：由非晶成分的合金在非平衡凝固条件下转变为共晶组织的反应，称为伪共晶转变。

1.5 塑性变形金属的临界变形度：它是指对应于再结晶后得到特别粗大晶粒的变形程度。

二次再结晶：二次再结晶即异常晶粒长大，是一种特殊的晶粒长大现象，表现为少数晶粒突发性地不均匀长大。

二、简述下列问题

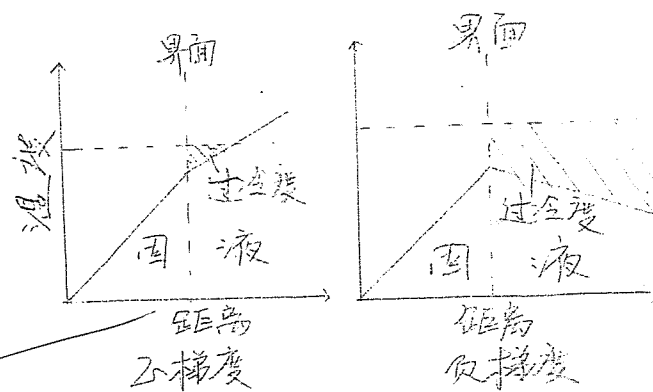
2.1 说明晶界生长形态与温度梯度的关系。

1) 正的温度梯度分布情况

- a. 若是平滑界面结构的晶界，其生长形态呈台阶状，组成台阶的平面是晶界的一定晶面；
- b. 若是粗糙界面结构的晶界，按垂直长大机制，其生长形态呈平面状，界面与液相等温线平行。

2) 负的温度梯度分布情况

负的温度梯度下晶界的生长方式为树枝状生长或树枝状结晶。



2.2 固态金属中发生扩散必须满足哪些条件?

- 1) 温度要足够高;
- 2) 时间要足够长;
- 3) 扩散原子要固溶;
- 4) 扩散要有驱动力(是化学位梯度)。

2.4 试用多晶体的塑性变形过程说明金属晶粒越细金属的室温强度越高, 塑性越好的原因。如果讨论金属材料的高温强度问题, 还应该考虑哪些问题? 上述结论有哪些变化? (见98)

多晶体塑性变形过程主要受以下两个因素的影响:

a. 晶粒的取向: 由于相邻晶粒之间取向不同, 在变形过程中, 各晶粒表现为相互制约和相互协调性, 使晶体的变形变得困难。

b. 晶界的影响: 多晶体中存在的晶界对晶体的变形有阻碍作用。

由于晶粒越细, 晶粒取向越多, 晶界也越多, 使晶体的变形更为复杂, 变形阻力增大, 故强度增加, 塑性也提高。

高温时, 还应考虑原子活动能力, 原子沿晶界扩散速度以及晶界上空位浓度。在高温时, 晶粒越细, 金属的强度越低。

2.5 与液态金属结晶相比, 金属固态相应有哪些主要特征?

1) 相变阻力大
固态相变时形核的阻力, 来自新相与基体间形成界面所增加的界面能和弹性应变能。

2) 原子迁移率低
由于固态中原子键合远比液态中牢固, 所以其扩散速度远比液态的低。因此原子扩散速率小, 其原子的迁移率就低。

3) 晶界面

固态相变时, 新旧两相之间要形成界面, 按结构特征可分为共格界面, 半共格界面和非共格界面三类。

4) 位向关系

固态相变时, 为了减少新旧两相之间的界面能, 两种晶粒之间往往存在一定的位向关系, 它们常以低指数的、原子密度大而又彼此匹配较好的晶面互相平行。

5) 惯习面

固态相变时, 新相往往在母相的一定晶面上开始形成, 这个晶面称为惯习面。

6) 非均匀形核

在固相中的形核几乎都是非均匀的。

4.4 强度与晶粒: 晶粒越细, 单位面积材料中晶粒数目越多, 晶界的总面积越大, 对材料塑性变形的阻力越大, 同时晶粒越细强度越高。

塑性好的原因: 晶粒越细, 在同样体积内晶粒数越多, 在同样变形量下, 变形可以分散在更多的晶粒内进行, 变形较为均匀, 引起的应力集中减小。

反之, 晶粒粗大, 晶界总面积小, 晶界对位错运动的阻碍作用减小, 强度降低, 塑性提高。

3. 已知面心立方晶格的晶格常数为 a , 试求出(110), (111), (100)晶面的晶面间距, 指出晶面间距最大的晶面, 并讨论这个晶面在金属塑性变形中的作用。

$$d_{110} = \frac{a}{\sqrt{1+1+0}} = \frac{a}{\sqrt{2}}, d_{111} = \frac{a}{\sqrt{1+1+1}} = \frac{a}{\sqrt{3}}, d_{100} = \frac{a}{\sqrt{1+0+0}} = a$$

∴ (100) 是晶面间距最大的晶面。

因为晶面间距最大的晶面, 其阵阻力最小, 所以在金属塑性变形中, 最容易沿这些晶面滑移。

4. 试述金属结晶过程晶胚尺寸和能量关系变化的关系, 并讨论临界晶核和临界形核功的物理意义。

若晶胚为球形, 半径为 r , 单位体积自由能变化为 $\Delta G_V (< 0)$, 晶胚单位面积的表面能为 $\sigma (> 0)$, 则形核总的自由能变化为

$$\Delta G = \frac{4}{3}\pi r^3 \Delta G_V + 4\pi r^2 \sigma$$

$$\text{令 } d\Delta G/dr = 0, r^* = -\frac{2\sigma}{\Delta G_V}$$

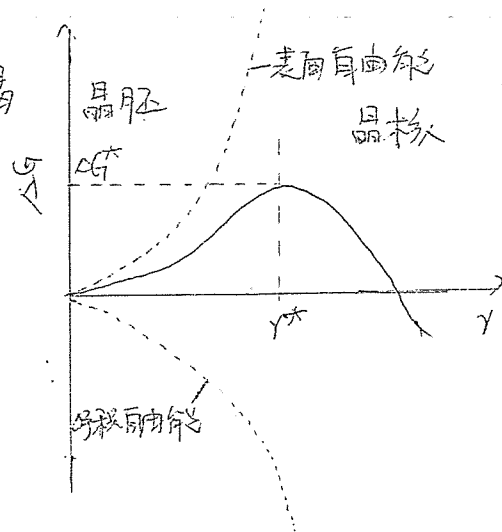
ΔG 随 r 变化的曲线如右图所示。

当晶胚的 $r < r^*$, 晶胚长大将导致体系自由能增加, 故这种尺寸晶胚不稳定, 难以长大, 最终熔化而消失;

$r > r^*$ 时, 晶胚长大则使体系自由能将降低, 这些晶胚能成为稳定的晶核。

半径为 r^* 的晶核称为临界晶核, 它是能够成为稳定晶核的最小晶胚。

临界形核功 $\Delta G^* = \frac{4}{3}\pi (r^*)^3 \Delta G_V + 4\pi (r^*)^2 \sigma$, 它相当于其表面能的 $1/3$, 它是形核时由系统自身或外界提供的最小能量。



5. 转变过程: ①合金从液态冷却至1度时, 开始析出奥氏体, 随温度下降, 奥氏体不断增多, 液相不断减少;

②当达到2度时, 奥氏体的成分达到上共, 液相的成分为C共, 开始从液相中析出奥氏体和渗碳体的机械混合物, 即莱氏体。

③在2度以下, 从共晶奥氏体和共晶奥氏体中析出二次渗碳体Fe₃C_{II};

④达到3度时, 奥氏体的成分变为S, 开始析出铁素体和二次渗碳体的机械混合物, 即珠光体。

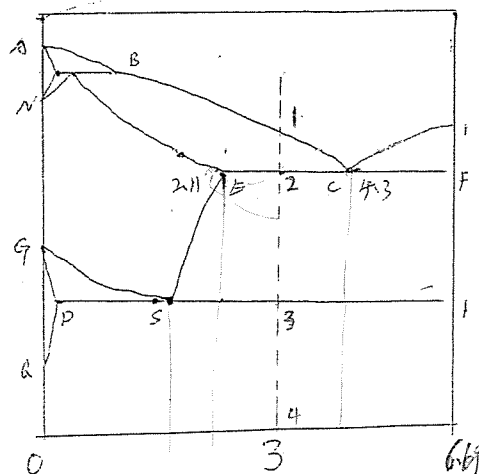
⑤3度以下, 从铁素体中析出三次渗碳体, 数量极少, 可忽略不计, 室温下的组织为珠光体P + 二次渗碳体Fe₃C_{II} + 莱氏体L_d。

$$W_{Ld} = \frac{3-2.11}{4.3-2.11} \times 100\% = 40.6\%, W_{Fe_3C_{II}} = \frac{2.11-0.77}{6.69-0.77} \times (1-40.6\%) = 13.14\%$$

$$W_P = 1 - W_{Ld} - W_{Fe_3C_{II}} = 46.26\%$$

室温下的相为铁素体和渗碳体。

$$W_{\alpha} = \frac{6.69-3}{6.69-0.0008} \times 100\% = 55.3\%, W_{Fe_3C} = 1 - W_{\alpha} = 44.7\%$$



专业课试题答案 05年

1. 对以下解释下列概念

1.1 金属键：由金属中的自由电子与金属正离子相互作用所构成的键合称为金属键。其基本特征是电子的共有化，即无饱和性又无方向性。

离子键：正离子和负离子依靠它们之间的静电引力所形成的化学键称为离子键。其基本特征是以离子键而不是以原子为结合单元，无饱和性和方向性。

共价键：它是由两个或多个电负性相差不大的原子间通过共用电子对而形成的化学键。有方向性和饱和性。

1.2 固溶体：它是以某一组元为溶剂，在其晶格点阵中溶入其他组元原子（溶质）所形成的均匀固态溶液，它保持着溶剂的晶格结构类型。

间隙固溶体：它是溶质原子分布于溶剂晶格间隙所形成的固溶体。

置换固溶体：它是溶质原子占据溶剂晶格的阵点所形成的固溶体。

1.3 刃型位错：刃型位错有一额外半原子面，其位错线与滑移方向垂直，也垂直于滑移矢量，滑移面只有一个，在位错区既有切应变又有正应变。

螺型位错：螺型位错无额外半原子面，其位错线与滑移矢量平行，位错线的移动方向与晶格滑移方向垂直，滑移面不止一个，在位错区，只有切应变。

1.4 包晶反应：在一定温度下，由一定成分的液相与一定成分的固相作用，形成另一个一定成分的固相的转变过程，称为包晶反应。

共晶反应：在一定温度下，由一定成分的液相同时结晶出成分一定的两个固相的转变过程，称为共晶反应。

共析反应：一定成分的固相，在一定温度下分解为另外两个一定成分固相的转变过程，称为共析转变。

1.5 晶序：晶序中的原子在三维空间呈周期性重复排列，即存在长程有序，它有固定的熔点。

非晶序：非晶序中的原子排列无长程有序的特征，呈近程有序，它无固定的熔点，存在一个软化温度范围。

准晶序：它是准周期晶序的简称，是一种介于晶序与非晶序之间的原子聚集状态的固态结构，它不符合晶序的对称条件，但呈一定程度的类似于晶序的周期性有序排列。

1.6 铁碳相图中的一次渗碳体和二次渗碳体。

一次渗碳体：直接从液相中经液相线（CD线）结晶出的渗碳体称为一次渗碳体 Fe_3C 。

二次渗碳体：在温度低于 A_{cm} 温度时，从奥氏体中析出的渗碳体称为二次渗碳体。

晶序是指原子、离子或分子按照一定的空间结构所组成的固体，其质点在空间的分布具有周期性和对称性。

枝晶偏析：由合金的非平衡凝固造成先凝固的枝干和后凝固的枝干间的成分不均匀，称为枝晶偏析，它在一个晶粒范围内的偏析，也称为晶内偏析。

晶界偏析：晶界偏析是由于溶质原子富集 ($k_0 < 1$) 在最后凝固的晶界部分造成的。

1.8. 相：系统中具有相同物理与化学性质的，且与其他部分以界面分开的均匀部分称为相。

相律：相律是描述系统的组元数、相数和自由度间关系的法则。

相图：相图就是描述多相系统中各相的平衡存在条件以及相与相之间平衡关系的图解。

1.9 小角度晶界：相邻晶粒的位向差小于 10° 的晶界，亚晶界均属小角度晶界，一般小于 2° 。

大角度晶界：相邻晶粒的位向差大于 10° 的晶界，多晶材料中的晶界大多属于此类。

1.10. 自扩散：当扩散不依赖于浓度梯度，仅由热扰动而引起时，称为自扩散。

互扩散：金属中原子间以相互扩散称为互扩散（互扩散）。
(一种金属中的原子向另一种金属中的扩散叫互扩散。)

2. 解答下列问题。

2.1 已知铁原子半径 0.124 nm ，原子量 55.85 g/mol ，试计算体心立方结构纯铁晶体的密度。

$$\sqrt{3}a = 4R, a = \frac{4R}{\sqrt{3}}, n = \frac{1}{8} \times 8 + 1 = 2, A = 55.85 \text{ g/mol}$$

$$\rho = \frac{nA}{a^3 N_A} = \frac{2 \times 55.85 \text{ g/mol}}{\left(\frac{4 \times 0.124 \text{ nm}}{\sqrt{3}}\right)^3 \times 6.02 \times 10^{23} / \text{mol}} = 7.92 \text{ g/cm}^3$$

2.2. 计算面心立方晶胞中所包含的原子数，致密度和配位数。

$$N = 6 \times \frac{1}{2} + 8 \times \frac{1}{8} = 4,$$

$$4R = \sqrt{2}a$$

$$K = \frac{N \cdot \frac{4}{3} \pi R^3}{a^3} = \frac{4 \times \frac{4}{3} \pi \left(\frac{\sqrt{2}a}{4}\right)^3 \left(\frac{\sqrt{2}a}{4}\right)}{a^3} = 0.74$$

$$CN = 4 \times 3 = 12$$

2.3 说明晶核形成前后晶胚尺寸变化引起的体系能量改变并由此定义临界晶核。

液相中出现晶胚时，一方面，由于局部区域中原子转变为晶态，使体系内的自由能降低 ($\Delta G_v < 0$)，这是相变的驱动力；另一方面，由于晶胚构成新的表面，又会引起表面自由能的增加 ($\Delta G_s > 0$)，成为相变的阻力。

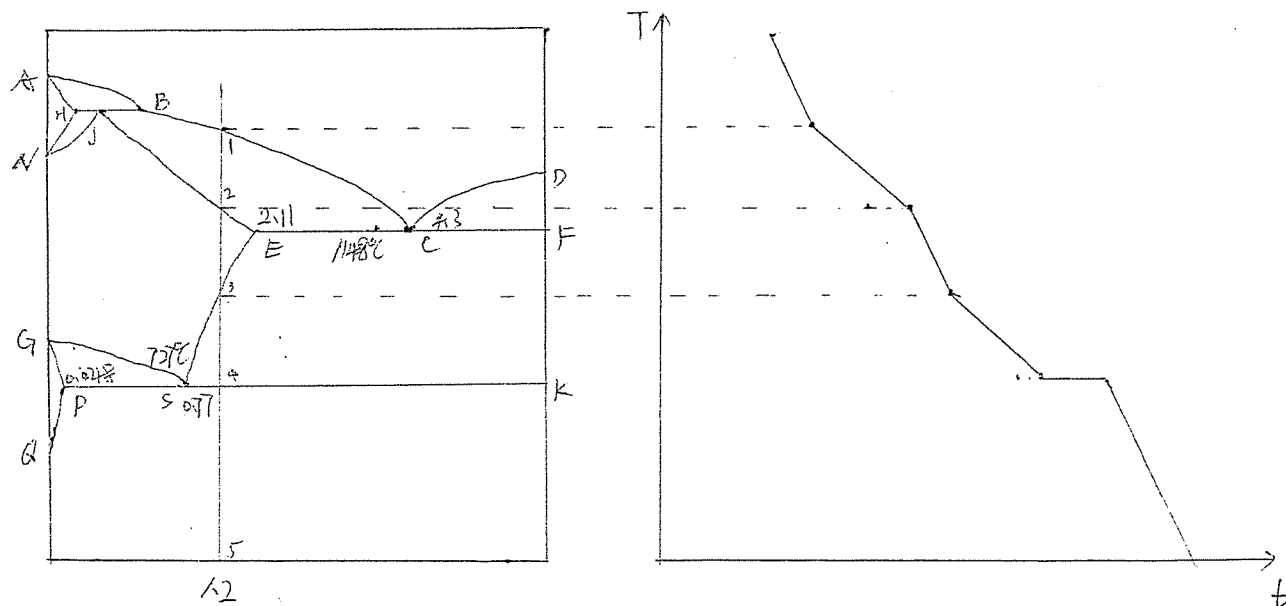
设若晶胚为球形，半径为 r ，单位体积自由能变化为 ΔG_v ，晶胚单位面积的表面能为 σ ，则体系总的自由能变化为： $\Delta G = \frac{4}{3} \pi r^3 \Delta G_v + 4 \pi r^2 \sigma$

令 $d\Delta G/dr = 0$ ，得 $r^* = -\frac{2\sigma}{\Delta G_v}$ ，当晶胚的 $r < r^*$ 时，晶胚长大将导致体系自由能增加，这种尺寸晶胚不稳定，难以长大，最终熔化而消失；而 $r \geq r^*$ 时，晶胚的长大则使体系自由能降低，这种尺寸晶胚能稳定存在，最终长大成为晶核。因此， r^* 是晶核形成的最小尺寸，称为临界晶核。

(1) ^{邻近}原子之间的直接交换机制

(2) 环形交换机制

3.

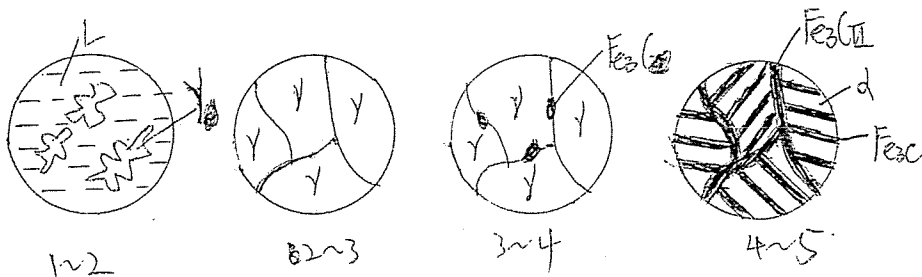


$$W_{\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}} = \frac{12 - 0.77}{6.69 - 0.77} \times 100\% = 7.3\%$$

(2) 间隙机制: 原子一个晶格间隙位置移动到另一个间隙位置。

(2) 空位机制: 晶格中存在空位, 在一定温度下有一定的平衡空位浓度, 温度越高, 平衡浓度越大。这些空位的存在使原子更容易运动, 故大多数情况下原子扩散借助空位机制。

(4) 晶界打散和表面打散: 由于缺陷的存在, 使它们的打散更容易进行。



试述在碳钢中过冷奥氏体珠光体转变,贝氏体转变的特点,说明三种转变所形成材料的性能特点。

三种转变的特点可用下表表示:

种类	珠光体	贝氏体	马氏体
形成温度	高温区域 $A_1 \sim 550^\circ\text{C}$	中温区域 $550^\circ\text{C} \sim M_s$	低温区域 M_s 以下
转变过程 的领先相	形核与长大 Fe_3C	形核与长大 α 相	形核与长大
转变的 共格性	无共格	无切变共格 产生表面浮凸	有切变共格 产生表面浮凸
转变时是否 有切变	无	有	有
转变时的 扩散性	铁、碳原子 均扩散	碳原子扩散 铁原子不扩散	铁、碳原子 均不扩散
合金元素 的分布	通过扩散 重新排布	合金元素 不扩散	合金元素 不扩散
转变产物 的组织	$\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ (层片状)	$\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ (α -碳化物析出)	板条状和 片状
转变产物 的硬度	低	中	高

珠光体的性能:

- 片状珠光体片层间越小,珠光体性能越好,强度、硬度越高,塑性、韧性越好。
- 粒状珠光体的性能与渗碳体颗粒的大小有关,颗粒越细小,铁素体的相界面越大,强度和硬度就越高,塑性、韧性也越好。

贝氏体的力学性能:

- 上贝氏体:形成温度高铁素体粗大,不但硬度较低,冲击韧性也很差。
- 下贝氏体:铁素体细小,分布均匀,在铁素体内沉淀析出大量细小弥散的碳化物,位错密度很大,故强度、硬度较高,塑性、韧性也很好。

马氏体的力学性能:

- 马氏体最主要的特征就是具有高的强度和硬度。
 - 含碳量小于0.5%时,马氏体的硬度随含碳量的增加而急剧增加;
 - 含碳量大于0.5%时,随着含碳量增加,残余奥氏体量增加,马氏体硬度有所下降。
- 马氏体的塑性和韧性很差,很脆。马氏体的晶粒越细小,组织力学性能越好。

4.2. 烧结的驱动力是什么? 烧结中传质方式主要有哪几种? 各种传质的驱动力是什么? 哪种传质方式可不引起烧结的收缩?

烧结的驱动力是降低表面能的降低, 它来源于烧结颈部与粉末颗粒其他部位之间^在存在的化学位差, 有以下三种表现形式:

- (1) 首先是表面张力造成的一种机械力, 它垂直作用于烧结颈曲面上, 使烧结颈向外扩大, 最终形成孔隙网。
- (2) 第二种是过饱和空位浓度梯度引起烧结颈表面下微小区域内空位向粉末颗粒内扩散, 而造成原子在相反方向上的迁移, 使颈部得以长大。
- (3) 第三种是烧结颈表面与颗粒表面之间存在蒸气压之差, 将导致物质向烧结颈迁移。

传质方式及驱动力:

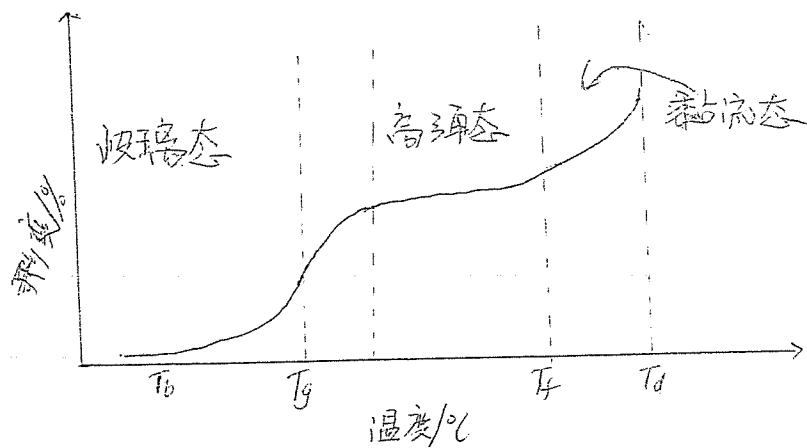
- 1) 蒸发和凝聚, 其驱动力是烧结颈表面与颗粒表面之间存在蒸气压之差。
- 2) 扩散, 其驱动力是烧结颈部与粉末颗粒其他部位之间存在空位浓度梯度。
- 3) 黏滞流动和塑性流动, 其驱动力是表面张力。
- 4) 溶解和沉淀, 其驱动力是表面张力。

蒸发—凝聚和^{表面}扩散属表面迁移机制, 烧结体的基体尺寸发生变化, 密度也保持原来大小。

体相扩散、塑性流动和黏滞流动属体相迁移, 可引起烧结体尺寸的变化。

k3

在恒定压力下, 线型非晶型高分子化合物在不同温度有几种状态, 分界温度是什么? 不同状态下大分子热运动有什么区别? 使用性能上有哪些特点?



(一) 玻璃态

- T_g 为高聚物的玻璃化温度, T_g 不是一个固定值, 随测试方法和条件的不同而异
- 当温度低于 T_g 时, 高聚物处于玻璃态;
- 在 T_g 温度以下, ~~不是~~ 分子的热运动较小, 不足以激发链段的运动, 链段被“冻结”
- 玻璃态高分子化合物呈刚性, 受力后变形很小, 并且应力与应变的大小成正比, 应力去除后, 形变回复。

(二) 高弹态

- T_f 为黏流温度, 温度处于 $T_g \sim T_f$ 之间的状态称为高弹态;
- T_g 以上, 分子动能增加, 链段可以运动, 但尚不足以使高分子链发生整体运动, 不能产生链间的相对滑动。
- 在高弹态下, 高分子受到外力时, 宏观上表现出很大的变形, 一旦外力去除, 在宏观上表现出弹性回缩, 它的弹性模量比玻璃态时小; 变形时吸热, 回弹时放热。

(三) 黏流态

- 当温度高于 T_f 时为黏流态
- T_f 以上, 分子的动能继续增大, 高分子链可发生整体运动, 产生链间的相对滑动
- 黏流态下, 受到外力时, 高分子可像液体一样流动, 产生很大的不可逆变形, 即黏性流动。

2006年专业课试题答案

1. 概念解释 晶界：是原子或分子按照一定的空间结构排列所组成的固体，其质点在空间分布具有周期性和对称性。

1.1 晶界：晶界中的原子在空间呈有规则的周期性重复排列，它包括金属晶界、离子晶界、共价晶界等。

离子晶界：离子晶界是依靠正、负离子间的静电引力形成的稳定的晶界结构，它是晶界的一种类型。

1.2 晶带、晶带轴、晶带面

所有平行或相交于某一晶向直线的晶面构成一个晶带；此直线就称为晶带轴，属此晶带的晶面称为晶带面。

1.3 空位：在晶界中，当某一原子具有足够大的振动能而使振幅增大到一定程度时，就可能克服周围原子对它的制约作用，跳离其原来的位置，使其阵中形成空结，称为空位。

间隙原子：当晶界表面或结晶上的原子跑到晶界内部的间隙位置就形成间隙原子，外来杂质进入晶界间隙处也可能形成间隙原子。

1.4 柏氏回路：在实际晶界中，从任一原子出发，围绕位错以一定的步数作一右旋（或左旋）闭合回路，就称为柏氏回路。

柏氏矢量：它是反映位错周围晶阵畸变总累积的物理量。该矢量的方向表示位错的性质与位错的取向，而该矢量的模表示畸变的程度。

1.5 刃型位错和螺型位错的滑移

前者滑移时，刃型位错的运动方向始终垂直于位错线而平行于柏氏矢量，且它的滑移限于单一的滑移面上；而后者滑移时，螺型位错的移动方向与位错线垂直，也与柏氏矢量垂直，它的滑移不限于单一的滑移面上。

1.6 扩散驱动力：它是指使物质中的原子从一处迁移到另一处所需要的能量，扩散的驱动力是化学势梯度。

扩散激活能：它是指物质中的原子扩散时所必须克服的能量。
(通常把原子扩散所需要的能量称为扩散激活能)

1.7 组元：组成一个体系的基本单元，如单质(元素)和化合物，称为组元。

相：体系中具有相同物理与化学性质的，且与其他部分以界面分开的均匀部分，称为相。

相律：相律是指平衡状态下体系中的自由度与体系中的相数、组元数及温度、压力之间关系的规律。吉布斯相律： $f = C - P + 2$ 。

(相律：相律是描述系统的组元数、相数和自由度间关系的法则)。

1.8. 晶胚: 当温度降到熔点以下时, 在液相中聚集时散乱的无序原子结构, 称为晶胚, 不是所有的晶胚都能成为稳定的晶核, 只有达到临界半径的晶胚才行。

临界晶核: 半径为临界半径的晶核称为临界晶核, 它是晶胚与稳定的晶核之间的一个临界状态。

1.9. 共晶合金: 含碳量为 4.3% 的铁合金称为共晶合金, 此合金中溶质浓度等于共晶成分。
 亚共晶合金: 含碳量在 $2.11\% \sim 4.3\%$ 之间的合金称为亚共晶合金, 此合金中溶质浓度小于共晶成分。
 过共晶合金: 含碳量在 $4.3\% \sim 6.69\%$ 之间的合金称为过共晶合金, 此合金中溶质浓度大于共晶成分。

1.10. 热过冷: 当液态金属中的实际温度低于理论凝固温度 T_m 时, 引起的过冷称为热过冷。
 成分过冷: 在合金凝固过程中, 由于固液界面前沿熔体中溶质浓度变化引起的熔点升高之后的过冷现象叫成分过冷。

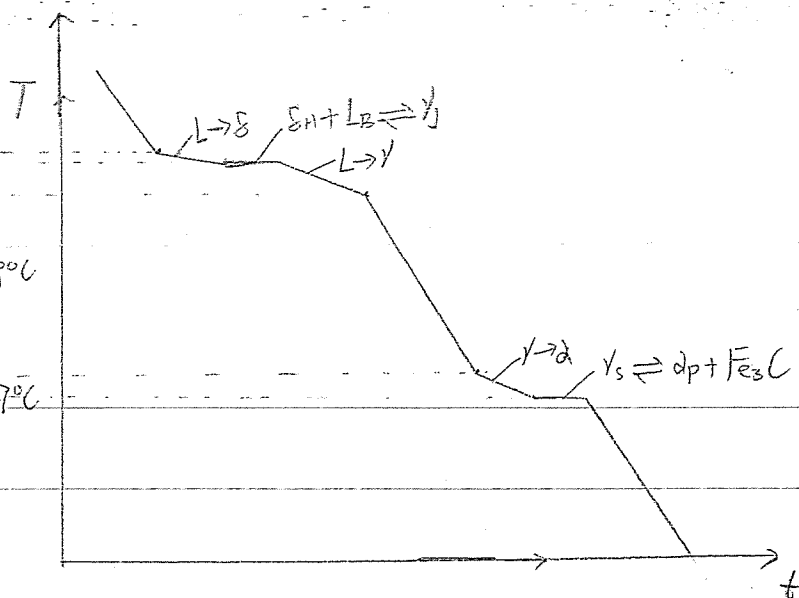
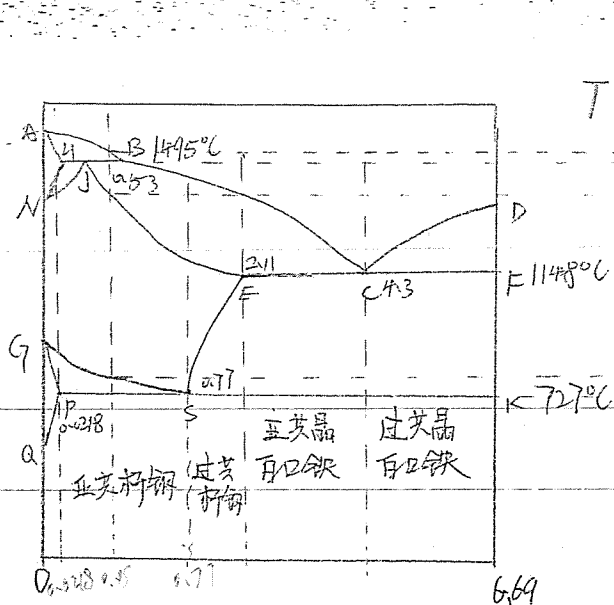
2. 简述下列问题

2.1 简述金属键的特点和金属键晶体的性能。
 由金属中的自由电子与金属正离子相互作用所构成的键合称为金属键, 它的基本特点是电子的共有化, 金属键既无饱和性又无方向性。
 性能: (1) 由于金属受力变形而改变原子之间的相互位置时不至于破坏金属键, 所以金属具有良好的延展性;
 (2) 由于自由电子的存在, 故金属一般具有良好的导电性和导热性。

2.2 纯铁在 912°C 以上和以下各是什么类型晶体结构? 碳在哪个晶体结构中的固溶度大, 为什么?
 纯铁在 912°C 以上为 $\gamma\text{-Fe}$, 为面心立方结构; 912°C 以下为 $\alpha\text{-Fe}$, 为体心立方结构。
 碳在面心立方结构中的固溶度大, 在 $\gamma\text{-Fe}$ 中的最大溶解度可达 2.11% , 而在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的最大溶解度仅为 0.0218% 。
 这是因为固溶于 $\gamma\text{-Fe}$ 和 $\alpha\text{-Fe}$ 的碳原子均处于八面体间隙中, 而 $\gamma\text{-Fe}$ 的八面体间隙尺寸比 $\alpha\text{-Fe}$ 大的缘故。

2.3 试述你所知道的纳米晶形成途径。
 (1) 以非晶态为起始相, 使之在晶化过程中形成大量的晶核, 生长成为纳米晶。
 (2) 对起始为通常的粗晶的材料, 通过强烈塑性形变或造成局部原子迁移, 产生高密度缺陷, 以致自由能升高, 转变成亚稳态纳米晶。
 (3) 通过蒸发、溅射并沉积途径, 如 PVD、CVD 等, 生成纳米微粒后固化, 或在基底材料上形成纳米晶薄膜材料。
 (4) 沉淀反应方法, 如利用溶胶-凝胶 (sol-gel), 热处理时效沉淀法, 析出纳米微粒。

3.



$$W_{\alpha'} = \frac{0.77 - 0.45}{0.77 - 0.0218} \times 100\% = 42.8\%$$

4. 简述马氏体的转变特点:

- (1) 马氏体转变是在无扩散的情况下进行的。由于马氏体转变是在较大的过冷度条件下进行的,此时无论是铁原子、碳原子还是其他合金元素原子的活动能力均较低,其阵重构是由原子集体的有规律的近程运动完成的。
- (2) 马氏体的转变过程中会在晶界表面产生浮凸现象。
- (3) 马氏体转变具有一定的晶学位向关系和惯习面。

马氏体是在奥氏体一定的结晶面上形成的,此面称为惯习面。由于马氏体转变时新相与母相始终保持切变共格性,故马氏体转变后新相和母相之间存在一定的结晶学位向关系。

(4) 降温转变及马氏体转变的高速率特点:

马氏体转变是在一定的温度范围内进行的,其转变量只与温度有关,而与保温时间无关,即随温度下降马氏体转变量不断增加。马氏体转变可以在极低的温度下以极快的速度进行。

(5) 马氏体转变具有可逆性:

在加热时已形成的马氏体能无扩散地直接转变为母相,冷却时又转变为马氏体。

- ① 形核与长大的过程; ② 马氏体转变的无扩散性; ③ 无领先相; ④ 发生切变共格,产生表面浮凸; ⑤ 具有一定的晶学位向关系和一定的惯习面; ⑥ 降温转变具有一定的转变温度范围; ⑦ 转变产物是碳在 α 铁中的过饱和固溶体,主要为板条状和片状; ⑧ 转变速度快; ⑨ 转变具有可逆性; ⑩ 转变不完全有残留奥氏体。

2007年真题答案

一、对比解释下列概念。
(结晶是指物质从液态转变为具有晶体结构固相的过程)

1. 凝固、结晶、再结晶

由液相至固相的转变称为凝固；如果凝固后的固相是晶体，则又可称之为结晶；将冷变形后的金属加热到一定温度之后，在原变形组织中重新产生无畸变的新晶粒，而性能也发生了明显的变化并恢复到变形前的状况，这个过程称之为再结晶。

2. 点缺陷、面缺陷、线缺陷

①点缺陷的特征是在三维空间的各个方向上尺寸都很小，尺寸范围约为一个或几个原子尺寸，故又称零维缺陷。

②面缺陷的特征是在一个方向上尺寸很小，另外两个方向上扩展很大，也称二维缺陷。

③线缺陷的特征是在两个方向上尺寸很小，另外一个方向上延伸较长，也称一维缺陷。

3. 晶界扩散、表面扩散和反应扩散

①晶界扩散是通过晶体内的晶界进行的扩散，扩散速率较大；

②表面扩散是在晶界颗粒表面进行的扩散，它的扩散速率更大；

③当某种元素通过扩散，自金属表面向内部渗透时，若该扩散元素的含量超过基体金属的溶解度，则随着扩散的进行会在金属表面形成中间相(也可能是另一种固溶体)，这种通过扩散形成新相的现象称为反应扩散或相变扩散；

④与晶界扩散、表面扩散相比，反应扩散过程中有新相形成，扩散速率较慢。

4. 晶界、亚晶界和孪晶界

①多数晶体物质由许多晶粒所组成，属于同一相但位向不同的晶粒之间的界面称为晶界；

②而每个晶粒有时又由若干个位向稍有差别的亚晶粒所组成，相邻亚晶粒之间的界面称为亚晶界。

③ 孪晶界分为共格孪晶界和非共格孪晶界，共格孪晶界就是孪晶面，当孪晶界相对于孪晶面旋转一角度时，就得到非共格孪晶界。

5. 组元、相和相律

① 组成一个体系的基本单元，如单质(元素)和化合物，称为组元；

② 体系中具有相同物理与化学性质的且与其他部分以界面分开的均匀部分，称为相；(相律是描述系统的组元数、相数和自由度间关系的法则。)

③ 相律表示了平衡状态下体系中存在相数与组元数及温度、压力之间的关系，可用下式表示： $f = C - P + 2$ ， f 为体系的自由度数， C 为体系组元数， P 为相数。

6. 均匀形核与非均匀形核

① 均匀形核，新相晶核是在母相中均匀地生成的，即晶核由液相中的一些原子团直接形成，不受杂质粒子或外表面的影响；

② 非均匀(异质)形核，新相优先在母相中存在的异质处形核，即依附于液相中的杂质或外来表面形核。

7. 螺旋型位错长大和二维晶核长大

① 二维晶核长大：利用系统中的能量起伏，使液态原子首先在界面上通过均匀形核形成一个具有一定大小的原子或单原子平面薄层，然后依靠原子填充其周围台阶进行扩展，直至铺满整个表面。晶体的进一步长大必须在新的界面上重新形成二维晶核，如此反复进行。

② 螺旋型位错长大：光滑界面上存在螺旋型位错时，垂直于位错线的表面呈现螺旋形的台阶，原子更容易填充这些台阶，当一个面的台阶被原子进入后，又出现另一层的螺旋形台阶，原子不断填充这些台阶，如此反复总是沿着台阶螺旋生长，使晶体长大。

8. 共晶、伪共晶和离异共晶

① 在某一恒定温度下，由某一液相中同时结晶出两个固相，这样两相的混合物称为共晶。

② 在非平衡冷却条件下，某些亚共晶或过共晶成分的合金也能得到全部的共晶组织，这种由非共晶成分的合金得到的共晶组织称为伪共晶。

③ 由于非平衡共晶产量较少，通常共晶产量的 α 相依附于初生 α 相生长，将共晶中另一相 β 推到最后凝固的晶界处，从而使共晶体两组成相相间的组织特征消失，这种两相分离的共晶称为离异共晶。

9. 非晶、准晶和纳米晶

- ① 非晶态中的原子在空间的排列是无规则的, 表现为短程有序、长程无序, 它是一种亚稳态的材料;
- ② 准晶是一种不符合晶体的对称条件, 但呈一定的周期性有序排列的类似于晶态的固体, 这是一种新的原子聚集状态的固体。
- ③ 纳米晶是由(至少一个方向尺寸为几个纳米的结构单元(主要是晶界)所构成的)一种非平衡态的结构, 存在大量的晶界缺陷。

10. 过饱和固溶体的连续脱溶和不连续脱溶

- ① 连续脱溶时, 新相晶核在母相中各处同时发生, 随机形成, 母相(基体)的浓度随之连续变化, 但母相晶粒外形及位向均不改变, 它可分为均匀脱溶和不均匀脱溶。
- ② 发生不连续脱溶时, 从过饱和的基体中以层片状形式同时析出包含有 α 与 β 两相的产物, 其中 α 相是成分有所改变的基体相, 而 β 相则是脱溶新相, 两者以层片状相间地分布, 通常形成核于晶界并向某侧晶粒生长, 转变区形成的层状领域与未转变基体有明晰的分界面, 基体成分在界面处突变且晶界取向也往往有改变。

二. 简答下列问题

1. 简要叙述固溶强化的概念、强化机制和影响固溶强化的因素。

由于溶质原子的溶入,使固溶体的强度、硬度增加,而塑性、韧性有所下降的现象,称为固溶强化。

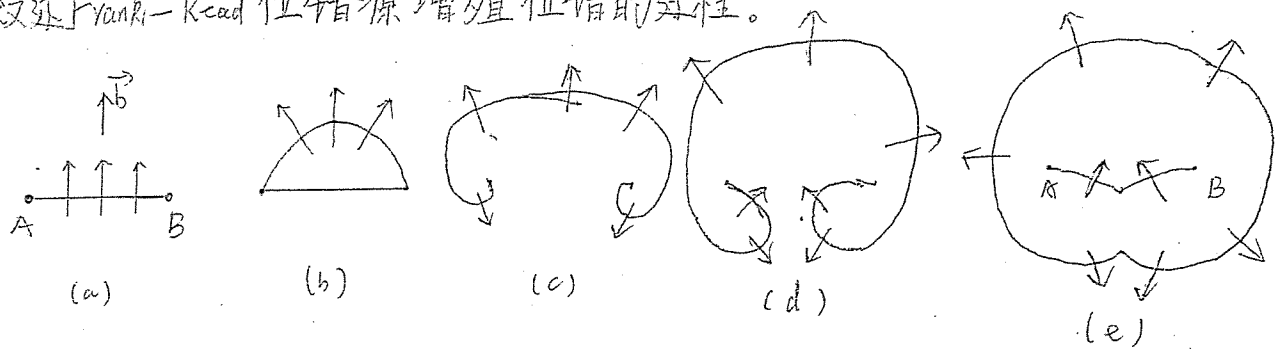
强化机制: 1) 由于溶质原子与位错的弹性交互作用,化学交互作用和静电交互作用,对在滑移面上运动着的位错有阻碍作用;
2) 当固溶体产生塑性变形时,位错运动改变了溶质原子在固溶体结构中以短程有序或偏聚形式存在的分布状态,从而引起系统能量的升高,增加了滑移变形的阻力;
3) 在位错线上偏聚的溶质原子对位错的钉扎作用;
4) 由于溶质原子的加入,导致晶格发生畸变,也增加了位错运动的阻力。

2) 影响因素:

- 溶质原子的原子分数越高,强化作用也越大,特别是当原子分数很低时,强化效应更为显著。
- 溶质原子与基体金属的原子尺寸相差越大,强化作用也越大。
- 间隙型溶质原子比置换原子具有更大的强化效果,且由于间隙原子在体心立方晶格中的晶格畸变属非对称性的,故其强化作用大于面心立方晶格的;但间隙原子的固溶度很有限,故实际强化效果也有限。
- 溶质原子与基体金属的价电子数相差越大,固溶强化效果越显著,即固溶体的屈服强度随合金原子浓度的增加而提高。

2. 叙述Frank-Read位错源增殖位错的过程。

答:



- 1) 如图(a)所示,某滑移面上有一刃型位错AB,它的两端被位错网络钉住,不能运动;
- 2) 沿位错 \vec{b} 方向加切应力,使位错沿滑移面向前滑移运动,但由于AB端固定,所以只能使位错线发生弯曲,如图(b)所示;
- 3) 弯曲后的位错每一小段继续受到滑移力的作用,沿它的法线方向向外扩展,其两端分别绕结点A、B发生回转,如图(c)所示;
- 4) 如图(d)所示,当两端弯曲出来的线段相互靠近时,由于该两线段平行于 \vec{b} ,但位错方向相反,它们相互抵消,形成一闭合的位错环和位错环内的一小段弯曲位错线;
- 5) 只要外加应力继续作用,位错环便继续向外扩张,同时环内的弯曲位错在线张力作用下又被拉直,恢复到原始状态,并重复以前取运动,这样不断地产生新的位错环,而造成位错的增殖,并使晶体产生可观的滑移。

以上就是弗兰克-里德位错源增殖位错的过程。

3. 论述成分过冷对固溶体合金结晶后组织的影响。

答：成分过冷是指界面前沿液相中实际温度低于由液质分布所决定的凝固温度时产生的过冷。

当在液固界面前沿有较小的成分过冷区时，平面生长就被破坏。界面某些地方~~的~~凸起，在它们进入过冷区后，由于过冷度稍有增加，促进了它们进一步凸向液相，但因成分过冷区较小，凸起部分不可能有较大伸展，使界面形成了胞状组织。

如果界面前沿的过冷区甚大，则凸出部分就能继续向过冷液相中生长，同时在侧面产生分枝，形成二次轴，在二次轴上再长出三次轴等，这样就形成树枝状组织。

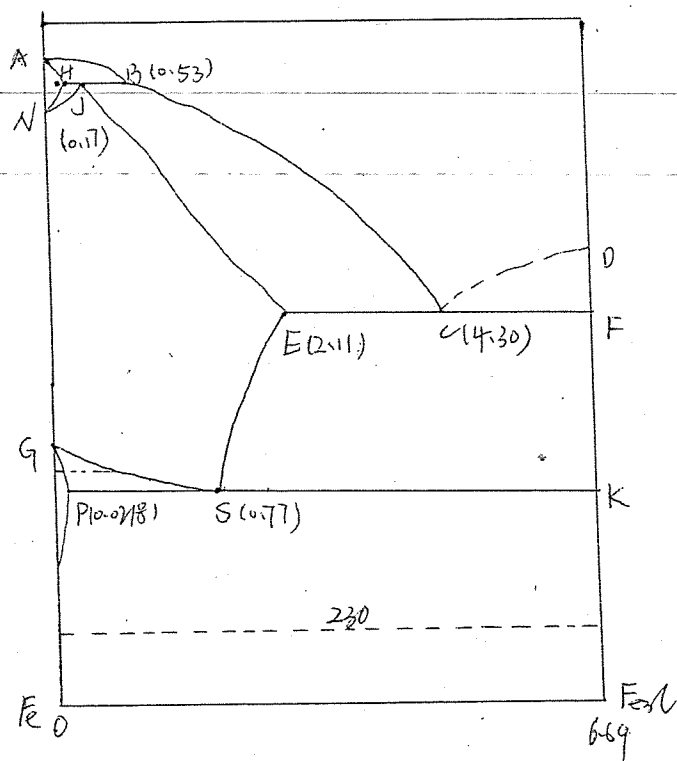
在两种组织形态之间还存在着过渡形态，即介于平面状与胞状之间的平面胞状晶，以及介于胞状与树枝晶之间的胞状树枝晶。

4. 论述金属-金属型共晶和金属-非金属型共晶结晶时，固液界面的差异。

答：(1) 金属-金属型共晶合金结晶时，并解是两相同时出现，而是某一相在熔液中领先形成核和生长，并且其两组成相与液相之间的液-固界面都是粗糙界面，各相的前沿液相温度均在共晶温度以下的 0.02°C 范围内，它们的液-固界面上的温度基本上相等，因而界面为平整状。

(2) 金属-非金属型共晶，金属型粗糙界面前沿液相的动态过冷度约为 0.02°C ，而非金属型光滑界面前沿液相的动态过冷度约为 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 。当液相中出现过冷，只需较小动态过冷度的金属相将领先形成核并任意生长，从而迫使滞后生长的非金属相也相应地发生枝化或迫使其停止生长，从而得到不规则的显微组织，如针片状、骨骼状等。

三、画出完整的Fe-Fe₃C相图，并说明其中三条水平线的意义，写出反应式。并计算T12钢中二次渗碳体的含量。



HB表示在1495℃发生的包晶转变： $L_B + \delta_H \rightarrow \gamma$ ，转变产物是奥氏体；

EF表示在1148℃发生的共晶转变： $L_C \rightarrow \gamma_E + Fe_3C$ ，转变产物是奥氏体和渗碳体的混合物，称为莱氏体；

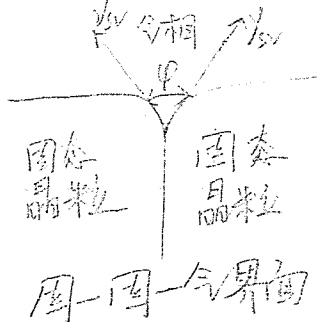
PSK表示在727℃发生的共析转变： $\gamma_S \rightarrow \alpha_P + Fe_3C$ ，转变产物是铁素体与渗碳体的机械混合物，称为珠光体。

$$w_{Fe_3C} = \frac{1.2 - 0.77}{6.69 - 0.77} \times 100\% = 7.4\%$$

第四 选作题

1. 对比分析贝氏转变和马氏转变动力学上的异同点。

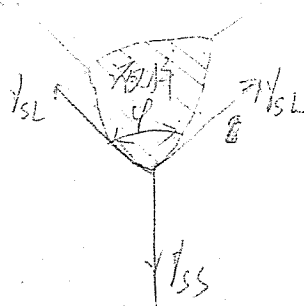
2、在陶瓷系统中，当有气相



$$\gamma_{ss} = 2\gamma_{sv} \cos \frac{\phi}{2}$$

ϕ —接触角， γ_{ss} —固-固界面张力

γ_{sv} —固-气界面张力， γ_{sl} —固-液界面张力



固-固-液界面

$$\cos \frac{\phi}{2} = \frac{1}{2} \frac{\gamma_{ss}}{\gamma_{sl}}$$

3. 描述高分子球晶的内部结构和其生长过程。

答：球晶的光学特征是在偏光显微镜下观察到黑十字消光图案，有时在消光黑十字上还重叠有一系列同心圆环状消光图案。在高倍显微镜下可观察到球晶内部结构主要由片晶折叠链、系带分子和无定形材料三部分组成。

生长过程：成核初始阶段它只是一个多层片晶；然后逐渐向外张开生长，不断分叉生长成捆束状形式，最后形成球状晶核。

2008年专业课真题答案

一、对比解释下列概念

1. 半导体、聚合物

- ① 常温下导电性介于导体与绝缘体之间的材料称为半导体，其电阻一般在 $10^6 \sim 10^{10} \Omega \cdot cm$ 之间。
- ② 由小的重复单元组成的具有高分子量的固体非金属材料称为聚合物。

陶瓷的晶体结构：陶瓷晶体中大量存在的是离子晶体，由离子键键不具有方向性和饱和性，有利于空间的紧密堆积，堆积方式取决于阴阳离子的电荷和离子半径的相对大小。

2. 金属晶体结构、陶瓷晶体结构

- ① 金属晶体的结合键是金属键，因其具有无饱和性和无方向性的特点，从而使金属内部的原子趋于紧密排列，构成高度对称性的简单晶体结构，最常见的金属晶体结构有面心立方结构 $A1$ 或 fcc 、体心立方结构 $A2$ 或 bcc 和密排六方结构 $A3$ 或 hcp 三种。
- ② 陶瓷的晶体结构大多属于离子晶体，它是由金属与非金属元素通过离子键或兼有离子键和共价键的方式结合起来的。常见的结构类型有 AB 型、 AB_2 型和 A_2B_3 型化合物，以及 ABO_3 型和 AB_2O_4 型化合物。

3. 虫果型位错、混合型位错

- ① 虫果型位错线与滑移矢量平行，它一定是一条直线，而且位错线的移动方向与晶体滑移方向互相垂直，其伯氏矢量与位错线平行；

- ② 混合型位错其滑移矢量既不平行也不垂直于位错线，而与位错线相交成任意角度，混合位错线是一条曲线，混合位错的伯氏矢量既不垂直也不平行于位错线，而与之相交成 φ 角($0 < \varphi < \frac{\pi}{2}$)

螺：一种一维线型晶体缺陷，形态上可描述为相互平行的相邻晶面依次错开合在一起形成的螺旋型斜面的中心线区域所形成的原子错排组态，其矢量平行于其位错线。

混：同时含有刃型分量和螺型分量的位错。

4. 共价键, 范德华键

① 共价键是由两个或多个电负性相差不大的原子间通过共用电子对而形成的化学键。它具有饱和性和方向性。

② 范德华键是借助微弱的、瞬时的电偶极矩的感应作用, 将原来就具有稳定的原子结构的原子或分子结合为一体的键合, 它包括静电力、诱导力和色散力。范德华键属物理键, 系一种次价键, 没有方向性和饱和性。

间隙扩散: 晶体扩散机制的一种, 间隙原子由一个间隙位置移至邻近的

空位扩散: 一种扩散机制, 这时候原子的净迁移过程是从晶格结点位置移动到邻近的空位中。

5. 晶胞、晶粒

① 为说明点阵排列的规律和特点, 可在点阵中取出一个具有代表性的基本单元(最小平行六面体)作为点阵的组成单元, 称为晶胞, 将晶胞作三维的重复堆砌就构成了空间点阵。(从晶体结构中取出的能代表晶体周期性特征的最小重复单元)

② 实际晶体是由许多晶粒组成的, 每个晶粒可包含多个晶胞。
(金属或陶瓷多晶体中的一个单独小晶体)

6. 间隙扩散、空位扩散

① 在间隙扩散中, 原子从晶格中间隙位置迁移到另一个间隙位置。像氢、碳、氮等这类小的间隙型溶质原子易以这种方式在晶体中扩散。

② 空位扩散是借助晶体中的空位进行原子迁移的, 它比间隙扩散更容易进行, 多数情况下, 原子扩散属空位扩散, 它可实现原子的大量扩散。(晶体扩散机制的一种, 原子的净迁移是从晶格结点位置移动到邻近的空位中)

7. 弹性变形、滞弹性

① 物体受到外力作用, 原子偏离其平衡位置产生变形, 外力去除后, 原子都会恢复其原来的平衡位置, 所产生的变形便完全消失, 这种变形称为弹性变形。故理想的弹性变形是可逆变形, 加载时变形, 卸载时变形消失并恢复原状。

② 在弹性极限范围内, 应变滞后于外加应力并和时间有关的现象称为滞弹性, 它在加载或卸载时, 应变不是瞬时达到其平衡值, 而是通过一种弛豫过程来完成其变化的, 可将其称为弹性的不完整性。

8. 滑移、滑移系 (滑移: 晶体中相邻的两部分在切应力的作用下沿着一定的晶面和晶向相对滑动。)

- ① 滑移是晶体的一部分相对于另一部分沿滑移面的位移, 它不是作刚性整体位移, 而是借助位错在滑移面上运动来逐步地进行的。
- ② 一个滑移面和此面上的一个滑移方向合起来叫做一个滑移系, 滑移系越多, 滑移也越容易进行。

9. 中间固溶体、金属间化合物

- ① 非纯组分的一定成分范围的固溶体或相, 称为中间固溶体。
- ② 金属间化合物, 具有明确的化学式的两种金属间化合物, 在相图中, 它以中间相出现, 其存在的成分范围非常窄。

10. 固溶处理、人工时效

- ① 固溶处理: 合金加热到高温单相区恒温保存, 使过剩相充分溶解至固溶体中后冷却得到过饱和固溶体。
 - ② 人工时效: 在室温以上对合金进行时效处理, 使之产生沉淀强化。
- 固溶处理: 通过溶解沉淀粒子而形成固溶体的过程。加热状态下快速冷却, 导致固溶体在外界环境下通常处于过饱和亚稳状态。

二、简答下列问题

1. 解释原子间结合力和结合能的概念及二者之间的关系。(见背面)

答: 晶体中粒子之间存在着相互作用力, 称为结合力, 它主要有金属键、离子键、共价键、范德瓦耳斯力和氢键五种类型。

两个或几个自由状态的粒子结合在一起时所释放的能量称为结合能。

当原子距离小于其平衡间距 r_0 时, 随原子间距的增大, 结合能和结合力都逐渐减小; 而当原子距离大于其平衡间距 r_0 时, 随原子间距的增大, 结合能逐渐增大, 最后趋向于一定值, 而结合力先增大, 当达到一最大值后又逐渐减小, 最后趋向于零。

2. 已知铜的原子半径为 0.128nm , 具有FCC晶体结构, 原子质量为 $63.59/\text{mol}$, 试计算其密度。

解: $\rho_{\text{铜}} = \frac{\text{一个晶胞的质量}}{\text{一个晶胞的体积}} = \frac{\frac{M}{N_A} \times 4}{a^3}$

其中 M 为摩尔质量, N_A 为阿佛加德罗常数, a 为晶格常数

又 $4R = \sqrt{2}a$, $\therefore a = \sqrt{2}R$

故 $\rho_{\text{铜}} = \frac{\frac{63.59/\text{mol}}{6.02 \times 10^{23}} \times 4}{(\sqrt{2} \times 0.128\text{nm})^3}$

$\rho_{\text{铜}} = \frac{N_A}{a^3 N_A} = \frac{4 \times 63.59/\text{mol}}{(\sqrt{2}R)^3 \times 6.02 \times 10^{23}/\text{mol}} = \frac{4 \times 63.59/\text{mol}}{(2\sqrt{2} \times 0.128 \times 10^{-8})^3 \times 6.02 \times 10^{23}/\text{mol}} = 8.9\text{g/cm}^3$

3. 简述固溶体合金中, 间隙和置换溶质原子与刃型位错的相互作用。(见背面)

(1) 溶质原子可与位错交互作用形成“柯氏气团”

(2) 由刃型位错的应力场可知在滑移面以上位错中心区域为压应力; 而在滑移面以下为拉应力, 若有间隙原子或比溶剂尺大的溶质原子存在就会与位错交互作用偏聚于刃型位错下方, 降低位错运动的弹性应变能。

(3) 由于处于能量较低状态时, 位错趋向稳定, 间隙和置换的溶质原子对位错有“钉扎作用”, 使心立方晶体的作用更强。

4. 给出固体原子扩散所遵守的Fick第一定律表达式, 并解释各量物理意义

答: $J = -D \frac{dp}{dx}$. 该方程称为菲克第一定律或扩散第一定律.

式中, J 为扩散通量, 表示单位时间内通过垂直于扩散方向 x 的单位面积的扩散物质质量, 其单位为 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; D 为扩散系数, 其单位为 m^2/s ; 而 p 是扩散物质的质量浓度, 其单位为 kg/m^3 .

式中负号表示物质的扩散方向与质量浓度梯度 $\frac{dp}{dx}$ 方向相反, 即表示物质从高的质量浓度区向低的质量浓度区方向迁移.

5. 描述多晶体材料的塑性变形过程, 并解释晶粒细化强化机制。(见背面)

答: 多晶体中每个晶粒变形的基方式与单晶体相同, 但由于相邻晶粒之间取向不同, 以及晶界的存在, 因而多晶体材料在塑性变形过程中, 既须克服晶界的阻碍, 又要求各晶粒的变形相互协调与配合.

由于晶界上位错畸变严重且晶界两侧的晶粒取向不同, 因而在同一晶粒中滑移的位错不能直接进入第二晶粒, 要使第二晶粒产生滑移, 就必须增大外加应力, 以启动第二晶粒中的位错源运动, 所以晶界的存在增加了晶体的强度. 由于晶界数量直接取决于晶粒的大小, 晶粒越小, 晶界越多, 故多晶体的强度随其晶粒细化而提高. 由霍尔-佩奇公式 $\sigma_s = \sigma_0 + k d^{-1/2}$ 可知晶粒越细小, 多晶体的屈服强度 σ_s 越高.

晶粒细化不仅使材料具有较高的强度和硬度, 而且具有良好塑性 and 韧性, 即具有良好综合力学性能.

三、回答下列问题

1. 简要说明相变动力学所解决的问题是什么? 哪些关键因素影响相变过程? 如何影响?

相变动力学所解决的是相变速率问题, 即相变过程中相变量与时间的关系。相变过程取决于新相的形核率 N 与长大速率 G , 主要受温度和时间的影响。

(1) 温度的影响

一般来讲, 温度越高, 相变速率越快, 完成相变过程越快。

(2) 时间的影响

时间的影响不如温度的影响显著, 随保温时间的延长, 相变量增加。

(3) 在较低温度长时间保温与较高温度短时间保温可达到相同的相变效果。

影响因素: ① 时间: 在恒温下, 随时间延长, 转变速率先增大后减小。

② 温度: 温度是影响反应速率的重要因素, 一般来讲, 随温度越高, 反应速率越大。

③ 化学成分: ① a. 含碳量越高, M_s 线越低

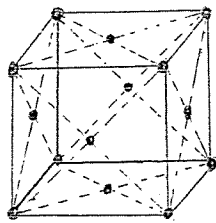
b. 合金元素, 除 Co、Al 外, 都会降低转变速率

④ 原始组织晶粒越细, 转变速率越快。

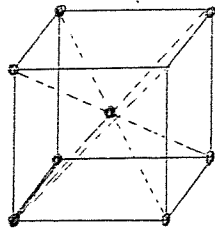
⑤ 应力和塑性变形: 拉应力和塑性变形增大反应速率, 压应力降低反应速率。

⑥ 晶界缺陷: 一般来讲, 缺陷会提高反应速率。

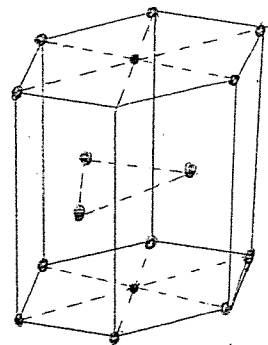
2.



面心立方结构



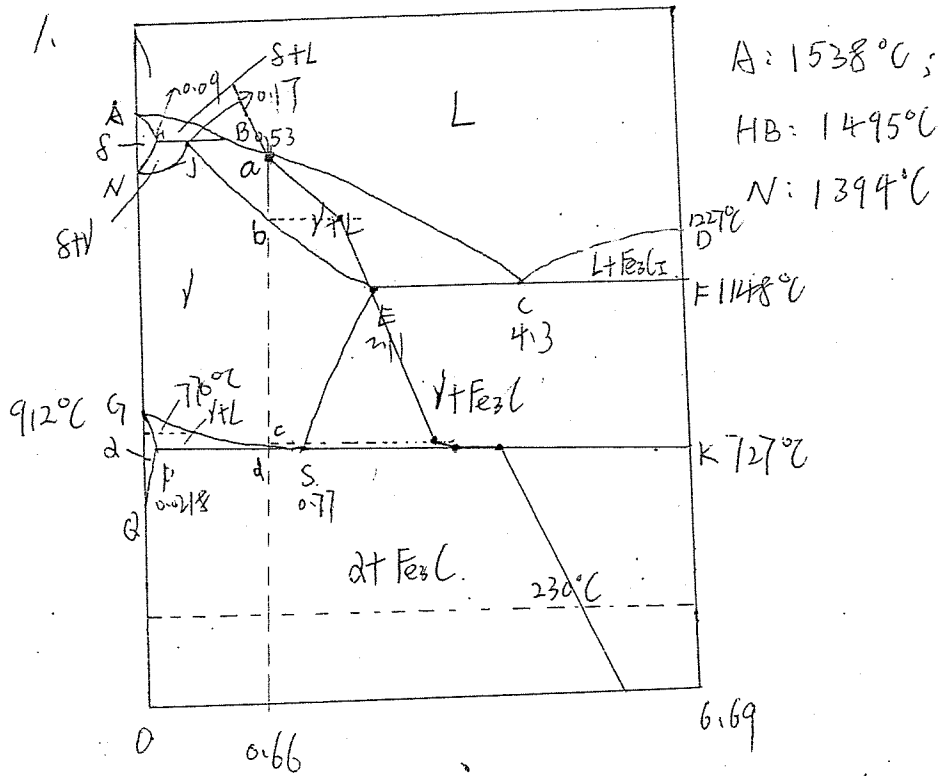
体心立方结构



密排六方结构

结构特征	晶体结构类型		
	面心立方(fcc)	体心立方(bcc)	密排六方(hcp)
原子半径(R)	$\frac{\sqrt{2}}{4}a$	$\frac{\sqrt{3}}{4}a$	$\frac{a}{2}(\frac{1}{2}\sqrt{\frac{a^2}{3} + \frac{c^2}{4}})$
晶胞原子个数(n)	4	2	6
配位数(CN)	12	8	12
致密度(K)	0.74	0.68	0.74
四面体间隙数量	8	12	12
八面体间隙数量	4	6	6

四. 画图, 说明并计算



2.
$$\frac{W_C - 0.0218}{0.77 - 0.0218} \times 100\% = 85\%$$

$W_C = 0.66$

~~$$W_d = \frac{0.77 - 0.66}{0.77 - 0.0218} \times 100\%$$~~

$$W_d = \frac{6.69 - 0.66}{6.69 - 0.0218} \times 100\% = 90.4\%$$

$$W_{Fe_3C} = 1 - W_d = 9.6\%$$

3. 冷却曲线如上图所示。

相变过程：合金在 $a \sim b$ 点之间按匀晶转变结晶出单相奥氏体； $b \sim c$ 点之间为单相奥氏体；冷却至 c 点，开始析出铁素体，直至 d 点，此时铁素体成分达到 P 点，而奥氏体成分达到 S 点，剩余奥氏体发生共析转变形成珠光体；在 d 点以下，为共析铁素体中将析出 Fe_3C ，但其数量很少，一般可忽略。该合金的室温组织由共析铁素体和珠光体组成。

2009年专业课真题答案

1. 对比下列概念

1.1 结晶、再结晶和二次再结晶

结晶是指物质从液态转变为具有晶体结构固相的过程。

① 将液态金属冷却时,在液相中析出晶体的过程称为结晶。

② 将冷变形后的金属加热到一定温度之后,在原变形组织中重新产生了无畸变的新晶粒,而性能也发生了明显的变化并恢复到变形前的状况,这个过程称之为再结晶。

③ 异常晶粒长大称为二次再结晶,是一种特殊的晶粒长大现象,表现是少数晶粒

④ 与再结晶 结晶与再结晶都为形核和长大两个过程,但再结晶的晶核不是新相,其晶体结构并未改变,二次再结晶只是一种异常晶粒长大现象。

1.2 均匀形核和非均匀形核

① 均匀形核,新相是在母相中均匀地生成的,即晶核由液相中的一原子团直接形成,不受杂质粒子或外表面的影响;

② 非均匀(异质)形核,新相优先在母相中存在的异质处形核,即依附于液相中的杂质或外来表面形核。

1.3 固溶体、置换固溶体和间隙固溶体

① 固溶体是以某一组元为溶剂,在其晶格点阵中溶入其他组元原子(溶质原子)所形成的均匀混合的固态溶体,它保持着溶剂的晶格结构类型;

② 根据溶质原子在溶剂晶格中所处的位置,可将固溶体分为置换固溶体和间隙固溶体两类。当溶质原子占据溶剂晶格的阵点或者说溶质原子置换了溶剂晶格的部份溶剂原子时,称为置换固溶体;当溶质原子分布于溶剂晶格间隙时,称为间隙固溶体。

离子键：原子间发生电子转移，形成正负离子，并通过静电作用而形成的化学键。

1.4 离子键、金属键和共价键

- ① 由正负离子之间的静电引力相互作用所构成的键合称为离子键，其基本特点是以离子而不是以原子为结合单元，离子键无方向性和饱和性。
- ② 由金属中的自由电子与金属正离子相互作用所构成的键合称为金属键，其基本特点是电子的共有化，金属键既无饱和性又无方向性。
- ③ 共价键是由两个或多个电负性相差不大的原子间通过共用电子对而形成的化学键，它既有饱和性又有方向性。

1.5 施主态、受主态和受主能级

① 施主态：当具有5个价电子的杂质原子取代掺入到硅晶中，这个杂质原子只有4个价电子参与成键，而额外那个价电子是松散地束缚在杂质原子的周围。对于每个这样松散成键的电子来说，在其禁带的内部相邻导带的位置将形成一个能级或者能态，称为施主态。

② 受主态：当具有3个价电子的杂质原子取代掺入到硅晶中后，这些原子中的一个共价键会缺失一个电子，这种缺陷可以认为是一个空穴，微弱地束缚在杂质原子上，每个这种类型的缺陷都会在带隙内部引入一个能级，它十分接近价带的顶端，也被称为受主态。

1.6 晶界扩散、表面扩散和反应扩散

- ① 晶界扩散是通过晶体内的晶界进行的扩散，扩散速率较大；
- ② 表面扩散是在晶体颗粒表面进行的扩散，它的扩散速率更大；
- ③ 当某种元素通过扩散，自金属表面向内部渗透时，若该扩散元素的含量超过基本金属的溶解度，则随着扩散的进行会在金属表面形成中间相（也可能是另一种固溶体），这种通过扩散形成新相的现象称为反应扩散或相变扩散，与前两种扩散相比，其扩散速率较慢。

1.7 晶粒、晶界和晶胞

- ① 结晶物质在生长过程中, 由于受到外界空间的限制, 未能发育成具有规则形态的晶体, 而只是结晶成颗粒状, 称为晶粒。
- ② 多数晶体物质由许多晶粒所组成, 属于同一固相但位向不同的晶粒之间的晶面称为晶界, 它是一种内界面。
- ③ 为说明点阵排列的规律和特点, 可在点阵中取出一个具有代表性的基本单元(最小平行六面体)作为点阵的组成单元, 称为晶胞。

1.8 屈服强度、断裂强度和疲劳强度

- ① 屈服强度又称屈服极限, 常用符号 σ_s 表示, 屈服强度是屈服点的应力值(屈服值), 通常用作固体材料力学机械性质的评价指标, 是材料的实际使用极限。~~材料应力-应变曲线上材料发生微量塑性变形的应力~~
- ② 断裂强度指材料发生断裂的应力。
- ③ 在交变载荷作用下, 对应某一特定循环次数, 金属材料能承受而不失效的最大应力水平。

1.9 弹性形变、滞弹性和弹性性能

- ① 弹性形变是指外力去除后能完全恢复的那部分形变。
- ② 在弹性极限范围内, 应变滞后于外加应力, 并和时间有关的现象称为滞弹性或弹性后效, 在加载或卸载时, 应变不是瞬时达到其平衡值, 而是通过一种弛豫过程来完成其变化的。
- ③ 弹性形变过程中储存在晶体中的能量称为弹性能。

1.10 非晶、准晶和纳米晶

- ① 非晶中的原子排列无长程有序的特征。
- ② 准晶是准周期性晶体的简称, 它是一种介于晶态和非晶态之间的新的原子聚集状态的固态结构, 它不符合晶体的对称条件, 但是具有一定的周期性有序排列。
- ③ 纳米晶是由(至少在一个方向上)尺寸为几个纳米的结构单元(主要是晶体)所构成, 它是一种非平衡态的结构, 存在大量的晶体缺陷。

位错：晶体材料中的线状缺陷，在其附近，原子发生错排。
 位错线：刃型位错中多余半原子面边缘的迹线或螺旋型位错中错排螺旋线的中心轴线。
 柏氏矢量：表示位错引起晶格畸变程度和方向矢量。

2、简答下列问题

2.1、简述位错、位错线和柏氏矢量的概念，并论述柏氏矢量和位错线的相对关系。

答：位错属于一种线缺陷，它是晶体原子的局部不规则排列。

位错线是指晶体或晶格内滑移面上已滑移区与未滑移区的分界线。
 柏氏矢量：柏氏矢量是反映位错周围晶阵畸变总积累的物理量，它的方向反映了位错的性质和取向，模的大小反映了位错的畸变程度。

刃型位错的柏氏矢量与位错线垂直，螺旋型位错的柏氏矢量与位错线平行，混合位错的柏氏矢量既不垂直也不平行于位错线，而与它成角 $0 < \phi < \frac{\pi}{2}$ 。

2.2 在结晶陶瓷晶体中，组元离子的哪些特性影响其最终的晶体结构？如何影响？

阳离子半径与阴离子半径。

- ① $0 < \frac{R^+}{R^-} < 0.155$ ，配位数为2，阳离子位于两个负离子的直线中间。
- ② $0.155 < \frac{R^+}{R^-} < 0.225$ ，配位数为3，阳离子位于负离子组成的平面正三角形的中心。
- ③ $0.225 < \frac{R^+}{R^-} < 0.414$ ，配位数为4，阳离子位于负离子组成的四面体的中心。
- ④ $0.414 < \frac{R^+}{R^-} < 0.732$ ，配位数为6，阳离子位于负离子组成的八面体的中心。
- ⑤ $0.732 < \frac{R^+}{R^-} < 1$ ，配位数为8，阳离子位于负离子组成的立方体的中心。
- ⑥ $\frac{R^+}{R^-} = 1$ ，配位数为12，此时为最密堆积，阳离子位于四面体中心。

陶瓷晶体中大量存在的是离子晶体，由于离子晶体不具有方向性和饱和性，有利于空间的紧密堆积，堆积方式取决于阴阳离子的电荷和离子半径 r 的相对大小。

2.3 简述聚合物晶伴形态和金属晶伴形态的异同。(见背面)

答：聚合物晶伴形态主要有单晶、片晶、球晶、树枝状晶、孪晶、纤维状晶和串晶等。

金属晶伴形态主要有面心立方结构、体心立方结构和密排六方结构三种。

与金属晶伴形态相比，聚合物晶伴形态有明显特点：

- ① 聚合物晶态总是包含一定量的非晶相；
- ② 聚合物晶态结构不但与大分子链自身的结构有关，而且还强烈地依赖于外界条件，如温度、压力等。

相同点：

2.4 简述稳态扩散与非稳态扩散的规律，举例说明其应用范围。

答：稳态扩散的规律可用菲克第一定律描述， $J = -D \frac{dc}{dx}$ ，即扩散中原子的通量与质量浓度梯度成正比。应用：描述了一种稳态扩散，那质量浓度不随时间而变化。

运用菲克第一定律可测定碳在 γ -Fe中的扩散系数。实验时，将一个半径为 r ，长度为 l 的纯铁空心圆筒置于 1000°C 高温中渗碳，即筒内和筒外分别从渗碳和脱碳气氛，经过一段时间后，筒壁内各点的浓度不再随时间变化，满足稳态扩散条件，此时，单位时间内通过管壁的碳量为常数。

非稳态扩散的规律可用菲克第二定律描述， $\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (D \frac{\partial c}{\partial x})$ ，当 D 与浓度无关时， $\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$ 。应用：质量浓度与时间有关。

对非稳态扩散，需要对菲克第二定律按所研究问题的初始条件和边界条件求解，不同的初始条件和边界条件将导致方程的不同解，如：两端成分不受扩散影响的扩散偶，一端不受扩散影响的扩散棒、衰减薄膜源等问题都可根据菲克第二定律求解。

2.5 列出面心立方晶体的滑移系数量, 所涉及的晶面和晶向。分析比较这两种晶体的塑性变形能力。

答: 面心立方晶体共有 $\{111\}_4 \langle 110 \rangle_3 = 12$ 个滑移系, 密排六方晶体共有 $(0001), \langle 11\bar{2}0 \rangle_3 = 3$ 个滑移系。

每一个滑移系表示晶体在进行滑移时可能采取的一个空间取向, 在其他条件相同时, 晶体中的滑移系越多, 滑移过程可能采取的空间取向便越多, 滑移容易进行, 它的塑性便越好。因为面心立方晶体有 12 个滑移系, 而密排六方晶体只有 3 个, 故面心立方晶体的塑性变形能力很强, 而密排六方晶体的塑性变形能力很差。

3. 论述题

3.1 画出共析钢的 TTT 曲线, 并对比分析珠光体转变和马氏体转变的异同点。

答: ① 珠光体转变在较高温度内发生, 马氏体转变在较低温度发生;

② 珠光体转变速度较慢, 而马氏体转变速度较快

③ 相同点: 珠光体转变与马氏体转变均有形核与长大过程

不同点: ① 马氏体转变为低温转变, 珠光体为高温转变;

② 马氏体转变表面产生浮凸, 珠光体表面无浮凸;

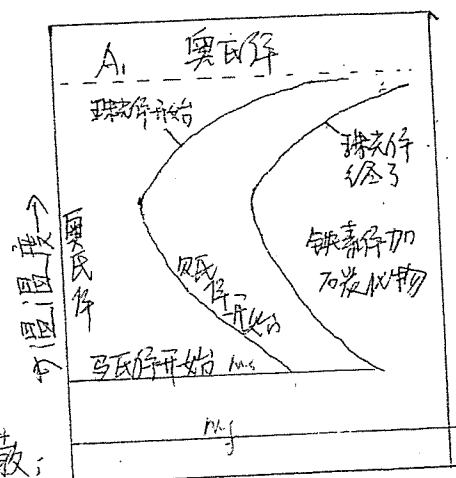
③ 马氏体转变中原子均未打散, 珠光体中二原子均发生打散;

④ 马氏体转变中合金元素未打散, 珠光体中合金元素打散形成新相; 时间 →

⑤ 转变产物硬度不同, 马氏体转变产物的硬度比珠光体高; T-T-T 图

⑥ 马氏体转变有奥氏体切变, 珠光体转变无奥氏体切变;

⑦ 马氏体转变产物为过饱和的 α -Fe 固溶体, 珠光体转变产物为 α -Fe 与 Fe₃C 机械混合物。

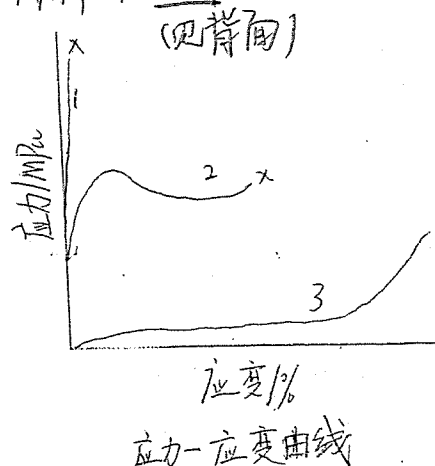


3.2 绘出三种聚合物材料(脆性、塑性和高弹性高分子材料)的应力-应变曲线图,分析这些材料的变形行为与金属材料的异同。

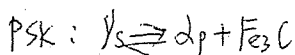
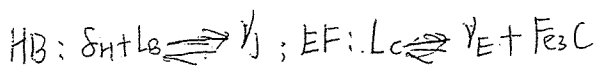
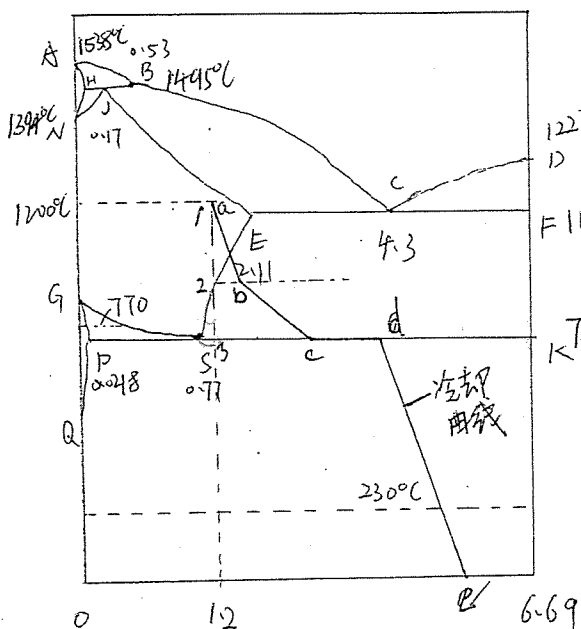
答:曲线1是脆性高分子的应力-应变曲线,它在材料出现屈服之前发生断裂,是脆性断裂,在这种情况下,材料断裂前只发生很小的变形;

曲线2是塑性高分子的应力-应变曲线,它在开始时是弹性变形,随后出现一个转折点,即屈服点,最后进入塑性变形区域,材料呈现塑性行为,此时若去掉应力,材料不再恢复原样,而留有永久变形;

曲线3是弹性体的应力-应变曲线。

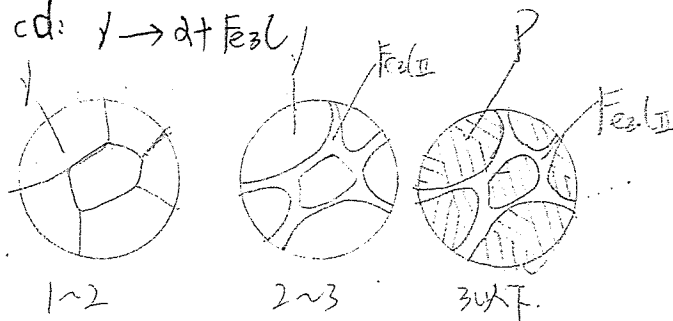
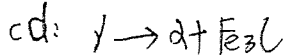
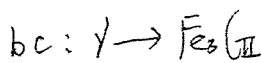


与金属材料相比,聚合物材料的变形对温度和时间依赖性要强烈的多,而且随其结晶度和交联程度的不同,其变形特性也不尽相同;高分子材料在塑性变形时往往会发现均匀变形的不稳定性,如拉伸试验中细颈的形成。



$$W_p = \frac{6.69 - 1.2}{6.69 - 0.77} \times 100\% = 92.7\%$$

$$W_{\text{Fe}_3\text{C}} = 1 - W_p = 7.3\%$$



2010年专业课真题答案

1. 对比解释下列概念

1.1 离子导电和电子导电

- ① 在绝大多数材料中, 电流是由电子的流动所引起的, 这称为电子导电;
- ② 对于离子材料, 离子的净运动可能产生电流, 这种情况称为离子导电。

1.2 点缺陷, 面缺陷和线缺陷

- ① 点缺陷在三维空间的各个方向上尺寸都很小, 尺范围约为一个或几个原子尺度, 也称零维缺陷;
- ② 线缺陷在两个方向上尺寸很小, 另外一个方向上延伸较长, 也称一维缺陷;
- ③ 面缺陷在一个方向上尺寸很小, 另外两个方向上扩展很大, 也称二维缺陷。

1.3 晶界扩散、表面扩散和反应扩散

- ① 扩散原子沿晶界进行的扩散称为晶界扩散。
- ② 扩散物质沿表面进行的扩散称为表面扩散。
- ③ 通过扩散反应而产生新相的现象, 称为反应扩散。
- ④ 表面扩散, 晶界扩散, 反应扩散的扩散速率依次降低。

1.4 热塑性和热固性高分子材料

- ① 热塑性高分子材料加热时变软, 冷却时变硬, 它处于熔融态时能够用挤塑成型或挤压成型。
- ② 热固性高分子材料一旦由化学作用固化或硬化, 再进行加热时将不能变软或熔化。

1.5 脆性断裂和韧性断裂

① ~~韧性断裂~~ 又称延性断裂，断裂前发生大量的宏观塑性变形，断裂时承受的工程应力大于材料的屈服强度，其断口有明显的缩颈现象。

② ~~脆性断裂~~ 断裂时，较少或没有宏观塑性变形，但在局部区域仍存在一定的微观塑性变形。

② 脆性断裂，通过裂纹的快速扩展而发生断裂，断裂时不发生任何明显的塑性变形。

均匀形核：在母相中依靠自身结构的变化均匀自发地形成核心，即在液相中各区域出现新相晶核的几率都是相同的，且无择优位置形核。

1.6 均匀形核和非均匀形核

① 新相晶核是在母相中均匀形成的，即晶核由液相中的一些原子团直接形成，不受杂质粒子或外表面的影响。

② 非均匀形核，新相优先在母相中存在的异质处形核，即依附于液相中的杂质或外来表面形核。

1.7 螺型位错长大和二维晶核长大

① 螺型位错长大：平滑界面上存在螺型位错露头时，垂直于位错线的表面呈现螺旋形的台阶，原子很容易填充台阶而使晶核长大。

② 二维晶核长大：在平滑界面上形成具有一定临界尺寸的薄层状二维晶核，然后液相原子沿着二维晶核侧边所形成的台阶不断地附着上去，使此薄层很快扩展而铺满整个表面，以后便如此反复，从而使晶核不断长大。

① 螺型位错长大：光滑界面上存在螺型位错时，垂直于位错线的表面呈现螺旋型台阶，原子很容易填充这些台阶，当一个面的台阶被原子进入后又会呈现新的高一层的螺旋型台阶，原子不断填充这些台阶，且总是沿着台阶螺旋生长，如此反复，使晶核不断长大。

② 二维晶核长大：利用系统中存在的能量起伏，使液相原子首先在界面上形成或通过均匀形核形成一个具有一定大小的单分子或单原子平面薄层，即二维晶核，然后依靠液相原子填充其周围台阶进行扩展，直至铺满整个表面。晶核的进一步长大，必须在新的界面上重新形成二维晶核，如此反复进行。

1.8 共晶和共析反应

① 共晶反应是在某一温度下由一液相同时结晶出两个固相的过程;

② 共析反应是一个固相在恒温下转变为另外两个固相的过程;

① 共晶反应: 随着冷却过程的进行, 由一液相可逆地转变为两个紧密结合的新固相。

② 共析反应: 随着冷却过程的进行, 由一个固相可逆地转变为两个紧密结合的新固相。

1.9 非晶、准晶和纳米晶

① 非晶中原子的排列呈短程有序而无长程有序。

② 准晶是准周期晶体的简称, 它是一种介于晶态和非晶态之间的新的原子聚集状态的固态结构, 它不符合晶体的对称条件, 但呈一定的周期性有序排列。

③ 纳米晶是由(至少在一个方向上)尺寸为几纳米的结构单元(主要是晶体)所构成以固相材料。

1.10 热加工和冷加工

① 工程上将再结晶温度以上的^{加工}称为热加工;

② 将再结晶温度以下的加工称为冷加工。

冷加工

"温加工"介于二者之间, 其变形温度低于再结晶温度, 却高于室温。

2. 回答下列问题

2.1 从显微组织和力学性能上说明珠光体和回火马氏体的主要区别？

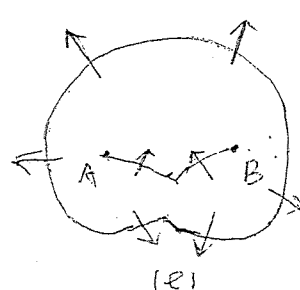
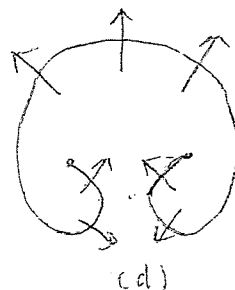
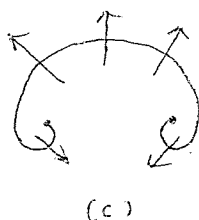
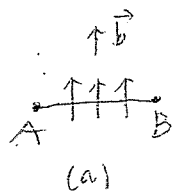
答：1) 显微组织上的区别：

珠光体是由铁素体和渗碳体相间排列组成的层片状或粒状混合物；回火马氏体是由过饱和的铁素体和与母相保持共格关系的 ϵ -碳化物或低合金马氏体和 ϵ -碳化物组成的机械混合物。

2) 力学性能上的区别：

① 回火马氏体的强度、硬度较珠光体的高，而塑性和韧性比珠光体差。

2.2 叙述Frank-Read位错源增殖过程



- (1) 位错AB的两端被位错网络钉住，不能运动；
- (2) 沿B方向加切应力，由于AB两端固定，位错线发生弯曲；
- (3) 继续增加外力，在位错线弯曲程度增大，两端绕A、B旋转；
- (4) 两弯曲出来的线段相互靠近时，由于位错线平行、方向相反，它们相对抵消，形成一闭合位错环和位错环内一小段弯曲位错线；
- (5) 在持续外力作用下，如此反复，实现位错增殖。

2.3 试述成分过冷对固溶体合金结晶后组织的影响。(见背面)

- (1) 通过成分过冷，有利于形成树枝晶和团状晶；
- (2) 固溶体合金的铸锭组织一般由表面细晶区、柱状晶区和中心粗大等轴晶区所组成，采用进一步增大固液界面处的过冷度以方法，得到全部的等轴晶组织。
- (3) 当成分过冷度大于形成新晶核所需的过冷度时，就在界面前沿的液相中产生新的晶核，大量的新晶核可限制柱状晶的生长，从而获得发达的等轴晶组织。

2.4 试比较金属-金属型共晶和金属-非金属型共晶结晶时, 固液界面的差异

(1) 金属-金属: 其两组成相与液相之间的液-固界面都是粗糙界面, 各相的前沿液相温度均在共晶温度以下的 0.02°C 范围内, 它们的液固界面上的温度基本上相等, 固液界面为平直状。

(2) 金属-非金属: 金属型粗糙界面前沿液相的过冷度约为 0.02°C , 而非金属型光滑界面前沿液相的过冷度约为 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 。当液相中过冷度过大, 只需较小的过冷度的金属相将领先形核并迅速生长, 从而迫使滞后生长的非金属相也相应地发生枝化或迫使其停止生长, 从而得到不规则形态的显微组织, 如针片状、骨骼状等。

3. 论述题

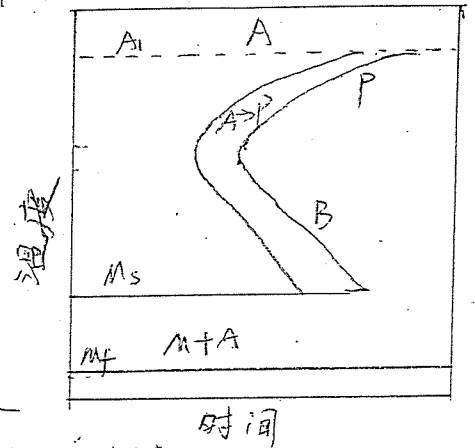
3.1 画出共析成分过冷奥氏体的等温转变曲线, 并对比分析珠光体转变和贝氏体转变的异同类。

(1) 相同类

- (1) 均有形核与长大过程;
- (2) 转变时均发生原子的扩散;
- (3) 转变时新相与母相均无共格关系;

(2) 不同类:

- (1) 珠光体转变是高温转变, 而贝氏体是中温转变;
- (2) 贝氏体转变时产生表面浮凸, 而珠光体没有表面浮凸现象;
- (3) 珠光体转变时原子发生扩散, 而贝氏体中只有碳原子扩散;
- (4) 珠光体转变时合金元素通过扩散重新排布, 而贝氏体中合金元素不扩散;
- (5) 贝氏体转变产物硬度高于珠光体转变产物;
- (6) 转变产物的组织不同;
- (7) 贝氏体转变以小片为领先相, 而珠光体转变以片为领先相。



3.2 (见11年)

(1) 再结晶退火, 它是在将冷变形后的金属加热到一定温度之后, 在原变形组织中重新产生无畸变的新晶粒。

适用于某些加工后的材料, 可用于中间退火, 调整钢的硬度, 改善切削性能, 但温度控制不好时, 可使晶粒粗化。 (40~500)

(2) 正火处理, 它是将钢加热到 A_c1 (或 A_{cm}) 以上适当温度, 保温以后在空气中冷却得到珠光体类组织的热处理工艺。

正火主要用于中低合金钢。

它能改善机械性能, 细化晶粒, 消除应力。

4. 画图, 说明并计算

- (1): $HJB: \delta_{Fe} + L_{Fe} \xrightarrow{1495^\circ C} \gamma_1$ 包晶反应 [转变]
 $EKF: L_{Fe} \xrightarrow{1148^\circ C} \gamma_2 + Fe_3C$ 共晶转变反应
 $PSK: \gamma_2 \xrightarrow{727^\circ C} \alpha_{Fe} + Fe_3C$ 共析转变反应

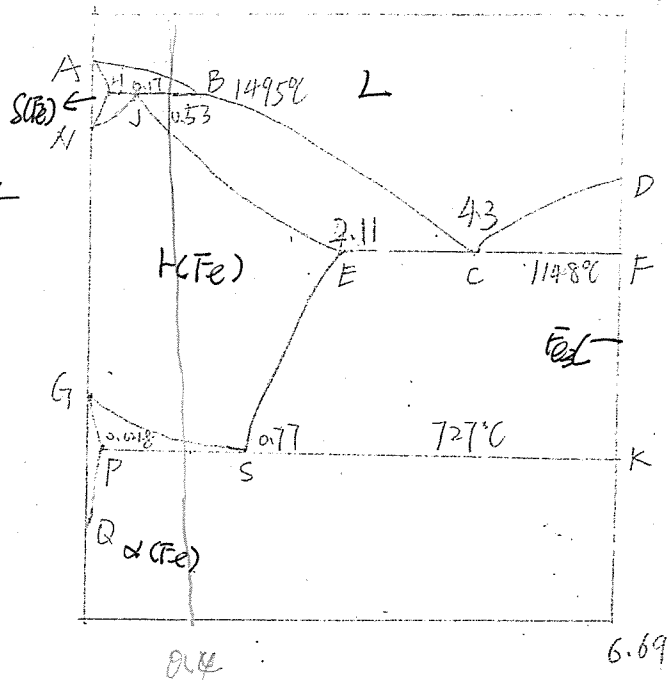
$$(2) W_d = \frac{6.69 - 0.4}{6.69 - 0.0218} \times 100\% = 94.3\%$$

$$W_{Fe_3C} = 1 - W_d = 5.7\%$$

- (3) 忽略铁素体和渗碳体溶解度差异, 金相组织中珠光体的体积百分数亦即其质量百分数:

$$W_p = \frac{0.77 - 0.4}{0.77 - 0.0218} \times \dots$$

$$W_p = \frac{0.4 - 0.0218}{0.77 - 0.0218} \times 100\% = 50.5\%$$



1. 对比解释下列概念

- 1.1 疲劳强度: 对应某一特定循环次数, 材料能承受而不失效的最大应力水平。
 疲劳寿命: 在某一指定应力幅值下, 引起疲劳失效的应力循环总数。
- 1.2 扩散: 固体中原子、或分子, 通过热运动而发生长程迁移, 或宏观物质传输现象。
 自扩散: 不仅依赖于浓度梯度, 而仅由热振动产生的扩散称为自扩散。
 异(互)扩散: 一种金属中的原子向另一种金属中的扩散叫异(互)扩散。
- 1.3 离子键: 原子之间发生电子转移, 形成正、负离子, 并通过静电作用而形成的化学键。
 离子键的本质是静电作用, 无方向性, 无饱和性。
 共价键: 由两个或多个电负性相差不大的原子间通过共用电子对而形成的化学键。
 有饱和性和方向性。
 氢键: 是一种特殊的分子间作用力, 它是由氢原子同时与两个电负性很大而原子半径很小的原子相结合而产生的, 具有比一般共价键大的键力。有饱和性, 有方向性; 存在于分子内或分子间。
- 1.4 热塑性高分子: 这种聚合物当加热时变软, 冷却时变硬。所以当这种颗粒状物质处于软态时能够由模具成型或挤压成型。
 热固型高分子: 这种聚合物一旦由化学作用固化或硬化, 再进行加热时将不能变软或熔化。
 K_{IC} 断裂韧性: 发生裂纹扩展时应力强度因子的临界值, 它表示材料抵抗裂纹扩展的能力。
 $K_{Ic, RTG}$: 即平面应变断裂韧性, 平面应变条件下应力强度因子的临界值(即达到该值时裂纹发生扩展)
- 1.5 均匀形核: 在母相中依靠自身的结构变化均匀自发地形成核心, 即在液相中各个区域出现新相晶核的几率都是相同的, 是无择优位置形成。
 非均匀形核: 新相优先在母相中存在的异质处形核, 那依附于液相中的杂质或外来表面上形核。
- 1.7 螺形位错长大: 光滑界面上存在螺型位错时, 垂直于位错的表面呈螺旋型的台阶, 晶核通过原子填充这些台阶而长大。
 二维晶核长大: 在光滑界面上, 形成一定大小的单分子或单原子的平面薄层, 即二维晶核, 液相原子沿着二维晶核侧边所形成的台阶不断附着上去, 使此薄层很快扩展而铺满整个表面, 如此反复, 使晶核不断长大。
- 1.8 熔点: 固体将其物态由固态转变为液态的温度。
 玻璃转变温度: 非晶陶瓷或聚合物的过冷液相冷却转变为刚性玻璃时的温度。

9. 玻尔原子模型: (1) 电子不是在任意轨道上绕核运动, 而是在一些符合一定量子化条件的轨道上运动; (2) 电子轨道离核越远, 原子所含的能量越高, 电子尽可能处在离核最近的轨道上; (3) 只有电子从较高能级跃迁到较低能级时, 原子才会以光子形式释放能量。
- 玻尔原子模型: 一种早期的原子模型, 该模型假定电子围绕原子核外不连续的轨道旋转。
- 波动力学原子模型: 应用薛定谔方程来描述核外电子的运动状态, 薛定谔方程是一个二阶偏微分方程, 它的自变量是核外电子的坐标, 因变量是电子波的振幅, 薛定谔方程得到的每一个解就是核外电子的一个定态。
- 波动力学模型: 它也是一种原子模型, 该模型认为电子像波一样, 并且表现出波动性和粒子性双重特性。

1.10 点缺陷: 在三维空间的各个方向上尺寸都很小, 尺寸范围约为一个或几个原子尺度, 故也称零维缺陷, 包括空位、间隙原子、杂质或溶质原子等。

线缺陷: 在两个方向上尺寸很小, 另外一个方向上延伸较长, 也称一维缺陷, 如各类位错。

面缺陷: 在一个方向上尺寸很小, 另外两个方向上扩展很大, 也称二维缺陷, 如晶界、相界、亚晶界和堆垛层错等。

2. 简答下列问题

2.1 从显微组织和力学性能上说明珠光体和回火马氏体的主要区别。

① 显微组织:

珠光体: 珠光体是由铁素体和渗碳体交互形成的层状或片状机械混合物。

回火马氏体: 其显微结构由非常细小且均匀分散的 ϵ -碳化物镶嵌在连续的铁素体基底而构成。

② 力学性能

珠光体: 珠光体的强度比铁素体高, 比渗碳体低, 而且珠光体强度随其层片间距减小而提高; 它的塑性和韧性则比铁素体低, 比渗碳体高。

回火马氏体: 随回火温度的升高, 其强度、硬度下降, 而塑性、韧性提高; 但在200~300℃较低温度回火时, 由于内应力的消除, 其强度和硬度都得到提高。

2.2. 对比说明单晶材料和多晶材料的组织、性能特点, 并讨论纳米材料的性能特点

1) 单晶: 在组织上由单一晶粒所构成, 常温下强度较低, 易发生沿晶断裂, 高温下强度较大, 高温力学性能较好。

2) 多晶: 在组织上由多个晶粒构成, 常温下力学性能高, 高温下由于蠕变, 裂纹容易沿晶扩展, 力学性能较低。

3) 纳米材料的性能特点:

a. 纳米晶材料的力学性能远高于其通常的多晶状态, 不仅具有较高的强度和硬度, 其塑性、韧性也明显改善;

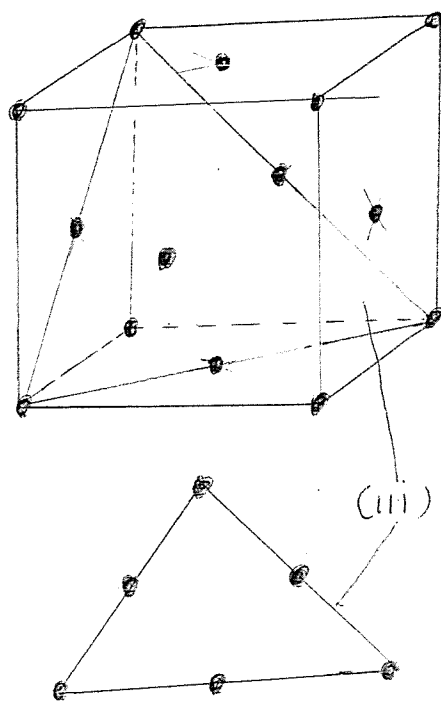
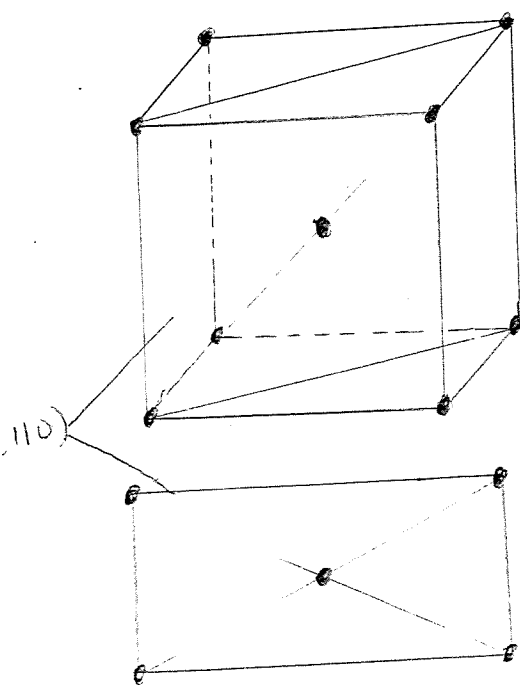
b. 纳米晶导电金属的电阻高于多晶材料;

c. 纳米铁磁材料具有低的饱和磁化强度、高的磁化率和低的矫顽力。

2.3 举例说明沉淀硬化原理, 并给出所涉及材料的硬化工艺参数。
沉淀硬化是金属合金的硬化和强化手段, 通过从过饱和固溶体中析出非常细小且均匀分散的粒子来实现。

将 $w(\text{Cu})=4\%$ 的 Al-Cu 合金加热到 540°C 以上温度进行固溶处理, 获得以 Al 为基的单相 α 固溶体。此时, 将单相 α 固溶体冷却到低温, 得到过饱和的 α 固溶体, 然后加热到 $100\sim130^\circ\text{C}$ 保温进行时效, 随着时效时间的延长, 从过饱和固溶体中析出沉淀析出 θ'' 相, 由于 θ'' 与基体 α 相保持共格, 使其周围基体产生弹性应变, 阻碍位错运动, 使塑性变形抗力提高, 从而使材料硬化。

2.4. 作图表示体心立方和面心立方的晶格结构, 并画出体心立方的 (110) 和面心立方中 (111) 晶面上原子排列情况。



3.1 论述题

3.1 在同一坐标图中画出低碳钢的 (a) 工程应力-应变曲线和 (b) 真应力-真应变曲线, 并回答下列问题:

3.1.1 说明两条曲线的异同点:

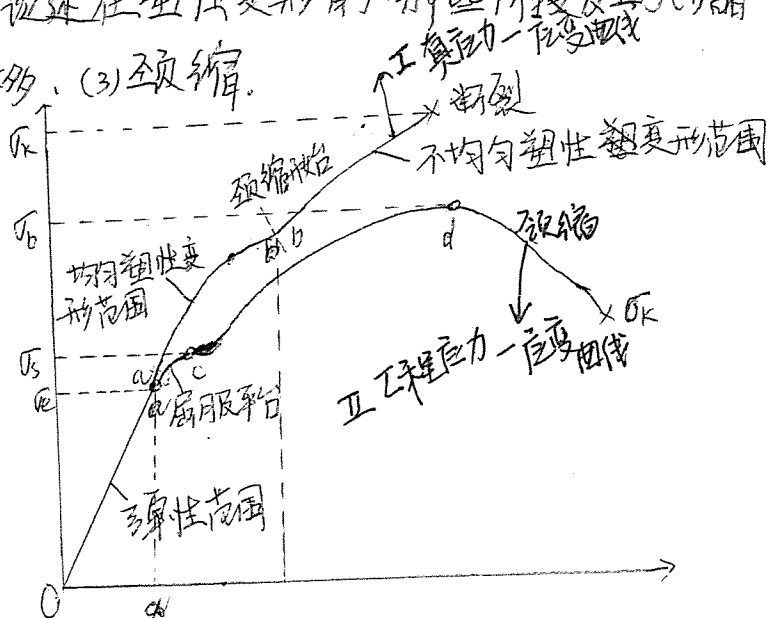
3.1.2 结合所画应力-应变曲线, 论述在塑性变形的哪些阶段发生了 (1) 晶格畸变, (2) 大量位错滑移, (3) 颈缩。

σ_e : 弹性极限

σ_s : 屈服极限

σ_b : 抗拉强度

σ_k : 断裂强度



相同点: a. 在开始阶段时都有一弹性变形阶段;

b. 当形变达到一定值时, 均发生断裂;

不同点: 真应力-真应变曲线, 不像工程应力-应变曲线那样在载荷达到最大值后转而下降, 而是继续上升直至断裂, 这说明金属在塑性变形过程中不断地发生加工硬化, 从而外力必须不断增高, 才能继续变形, 即使在出现缩颈之后, 缩颈处的真应力仍在升高, 这就排除了工程应力-应变曲线中应力下降的假象; 真应力-真应变曲线上不出现屈服平台。

由真曲线: 0a 阶段产生晶格畸变; ab 阶段大量位错滑移; b 之后产生颈缩。

应力-工程曲线: 0a 阶段产生晶格畸变; cd 阶段大量位错滑移; d 之后产生颈缩。

3.2 列出至少两种细化金属材料组织的热加工方法。说明适用材料, 大致工艺参数和优缺点。

1) 正火

正火是将钢加热到 A_{c3} 或 A_{cm} 以上 $30 \sim 50^\circ\text{C}$, 保温以后在空气中冷却得到珠光体类组织的热处理工艺。

适用材料: 正火主要用于低碳钢 ($w_c < 0.25\%$) 和中碳钢 ($w_c = 0.25\% \sim 0.5\%$)。

优点: a. 改善低碳钢的切削加工性能;

b. 消除中碳钢的应力加工缺陷。

c. 消除过共析钢中的网状碳化物, 便于球化退火;

d. 细化晶粒, 消除应力

e. 为最终热处理提供合适的组织状态。

缺点: 一些中碳钢或合金钢正火后硬度偏高, 不利于切削加工。
2) 完全退火 (或重结晶退火)

完全退火是将钢件或钢材加热到 A_{c3} 以上 $20 \sim 30^\circ\text{C}$, 保温足够长时间, 使组织完全奥氏体化后缓慢冷却, 以获得近于平衡组织的热处理工艺。

适用材料: 主要用于亚共析钢 ($w_c = 0.3\% \sim 0.6\%$)

优点: a. 细化晶粒;

b. 均匀组织;

c. 消除内应力;

d. 降低硬度和改善钢的切削加工性。

缺点: 所需时间较长, 尤其是过冷奥氏体比较稳定的合金钢更是如此。

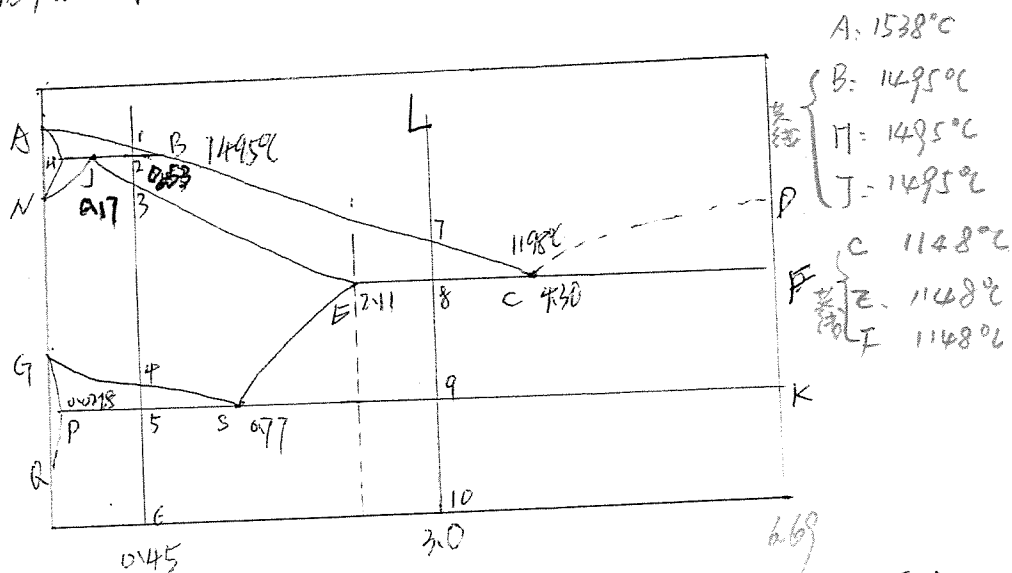
4. 画图讨论题

4. 画出完整的Fe-Fe₃C相图, 并回答下列问题

(1) 分别写出含碳量(质量分数)为0.45%和3.0%两种合金从液相平衡结晶到室温过程中的相变过程;

(2) 比较上述两种合金中碳化物的种数、数量和形态;

(3) 举例说明上述两种合金的组织、性能特点, 典型应用。



- (1) $w_c = 0.45$:
- 合金从液相冷却至1点时, 开始析出 δ -铁素体, 随着温度的下降, 固相不断增多, 液相不断减少, 固相沿着AB线变化, 液相沿着AC线变化。
 - 当冷却至2点时, 发生包晶转变, 液相和固相同时转变成奥氏体。
 - 包晶转变结束后, 还有一部分液相剩余, 随着温度的下降, 液相转变为珠光体。
 - 3~4之间为单相奥氏体区。
 - 冷却至4点时, 开始从奥氏体中析出 δ -铁素体, 随温度下降, 铁素体成分沿着AG线变化, 奥氏体成分沿着GS线变化, 直至5点。
 - 冷却至5点时, 奥氏体的成分到达S点, 开始发生共析转变, 由奥氏体生成铁素体和渗碳体的机械混合物, 即珠光体。
 - 6~5以下从铁素体中析出三次渗碳体, 数量极少, 可忽略不计。
 - 室温下的组织为 铁素体 + 珠光体 + 三次渗碳体。

- $w_c = 3.0$:
- 合金从液相冷却至7点, 开始析出 δ -铁素体, 固相成分沿着JE线变化, 液相成分沿着BC线变化, 直至8点。
 - 冷却至8点时, 液相成分到达C点, 开始发生共晶转变, 从液相中析出 δ -铁素体和Fe₃C混合物, 即Ld。
 - 8点以下, 从奥氏体中析出Fe₃C, 直至9点。
 - 冷却至9点时, 开始从奥氏体中析出珠光体。
 - 室温下的组织为 P + Fe₃C + Ld。

(2) ① $W_c = 0.45\%$ 合金中只有共析渗碳体, $W_{Fe_3C} = \frac{0.45 - 0.0218}{6.69 - 0.0218} \times 100\% = 6.42\%$
 在珠光体中与铁素体交替地呈层片状分布。

② $W_c = 3.0\%$ 的合金中的渗碳体有三种:

a, 共晶渗碳体, $W = \frac{3.0 - 2.11}{6.69 - 2.11} \times 100\% = 19.43\%$

网状) b, 二次渗碳体, $W_{Fe_3C II} = \frac{2.11 - 0.77}{6.69 - 0.77} \times (1 - 19.43\%) = 18.24\%$, 呈网状分布

c, 共析渗碳体, $W = \frac{0.77 - 0.0218}{6.69 - 0.0218} \times \frac{6.69 - 2.11}{6.69 - 0.77} \times (1 - 19.43\%) = 7\%$, 层片状。

③ 0.45% 的合金的组织由先共析铁素体 + 珠光体组成
 性能: 强度、硬度较 Fe_2V 低, 但塑性、韧性较高。
 应用: 轴类零件。

3% 的合金, 组织由 ~~珠光体~~ 珠光体 + 二次渗碳体 + 变态莱氏体组成
 性能: 强度、硬度较高, 塑性、韧性较差。
 应用: 应用于结构复杂件和耐磨件, 如泵类。