

## 材料科学基础答案—王章忠

### 简答题

#### 第一章 材料结构的基本知识

1、说明结构转变的热力学条件与动力学条件的意义。

答：结构转变的热力学条件决定转变是否可行，是结构转变的推动力，是转变的必要条件；动力学条件决定转变速度的大小，反映转变过程中阻力的大小。

2、说明稳态结构与亚稳态结构之间的关系。

答：稳态结构与亚稳态结构之间的关系：两种状态都是物质存在的状态，材料得到的结构是稳态或亚稳态，取决于转变过程的推动力和阻力(即热力学条件和动力学条件)，阻力小时得到稳态结构，阻力很大时则得到亚稳态结构。稳态结构能量最低，热力学上最稳定，亚稳态结构能量高，热力学上不稳定，但向稳定结构转变速度慢，能保持相对稳定甚至长期存在。但在一定条件下，亚稳态结构向稳态结构转变。

3、说明离子键、共价键、分子键和金属键的特点。

答：离子键、共价键、分子键和金属键都是指固体中原子(离子或分子)间结合方式或作用力。离子键是由电离能很小、易失去电子的金属原子与电子亲和能大的非金属原子相互作用时，产生电子得失而形成的离子固体的结合方式。

共价键是由相邻原子共有其价电子来获得稳态电子结构的结合方式。

分子键是由分子(或原子)中电荷的极化现象所产生的弱引力结合的结合方式。

当大量金属原子的价电子脱离所属原子而形成自由电子时，由金属的正离子与自由电子间的静电引力使金属原子结合起来的方式为金属键。

#### 第二章 材料的晶体结构

1、在一个立方晶胞中确定 6 个表面面心位置的坐标。6 个面心构成一个正八面体，指出这个八面体各个表面的晶面指数、各个棱边和对角线的晶向指数。

解 八面体中的晶面和晶向指数如图所示。图中 A、B、C、D、E、F 为立方晶胞中 6 个表面的面心，由它们构成的正八面体其表面和棱边两两互相平行。

ABF 面平行 CDE 面，其晶面指数为；

ABE 面平行 CDF 面，其晶面指数为；

ADF 面平行 BCE 面，其晶面指数为；

ADE 面平行 BCF 面，其晶面指数为(111)。

棱边，，，，，

，其晶向指数分别为[110]，，[011]，，[101]。

对角线分别为，其晶向指数分别为[100]，[010]，[001]

图 八面体中的晶面和晶向指数

2、标出图中 ABCD 面的晶面指数，并标出 AB、BC、AC、BD 线的晶向指数。

解：晶面指数：

ABCD 面在三个坐标轴上的截距分别为  $3/2a, 3a, a$ ,

截距倒数比为

ABCD 面的晶面指数为 (213)

晶向指数：

AB 的晶向指数：A、B 两点的坐标为

A (0, 0, 1) , B (0, 1, 2/3) (以 a 为单位)

则，化简即得 AB 的晶向指数

同理：BC、AC、BD 线的晶向指数分别为  $\frac{1}{2}$ ， $\frac{1}{3}$ ， $\frac{1}{2}$ 。

3、如图所示立方晶胞晶格常数为  $a$ ，AO 的长度为  $\frac{2}{3}a$ ，BD 的长度为  $\frac{1}{2}a$ ，CF 的长度为  $\frac{1}{3}a$ ，标出图中 ABC 面的晶面指数，并标出 AB、BC、AC 的晶向指数。

解：ABC 面的晶面指数：

ABC 面在 x、y、z 三个坐标轴上的截距分别为  $a$ ， $\frac{2}{3}a$ ， $\frac{2}{3}a$ ，

截距倒数比为

ABC 面的晶面指数为  $(126)$

晶向指数：

AB 的晶向指数：A、B、C 点的坐标为

A  $(0, 0, \frac{2}{3})$ ，B  $(1, 0, \frac{1}{2})$ ，C  $(0, 1, \frac{1}{3})$  (以  $a$  为单位)

则 AB 的晶向指数 或  $\{ \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3} \}$

BC 的晶向指数 或  $\{ \frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{1}{3} \}$

AC 的晶向指数 或  $\{ \frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2} \}$

4、求图中所示立方晶胞中 ABCD 面的指数；并求该晶面与晶胞所交的四边形四条边和对角线的晶向指数。

解：晶面指数：

ABCD 面在三个坐标轴上的截距分别为  $2a, a, 2a$

截距倒数比为

ABCD 面的晶面指数为  $(121)$

晶向指数：

AB 的晶向指数：A、B 两点的坐标为

A  $(1, \frac{1}{2}, 0)$ ，B  $(0, 1, 0)$  (以  $a$  为单位)

则，AB 的晶向指数

同理：BC、AC、BD 线的晶向指数分别为 ， ， 。

回答下列问题：

(1)在立方晶系的晶胞内画出具有下列密勒指数的晶面和晶向：

(001) 与 [210]，(111) 与 ， 与 [111]，与 [123]，与 [236] 06B 06YB

(2)在立方晶系的一个晶胞中画出 (111)和 (112)晶面，并写出两晶面交线的晶向指数。

(3)在立方晶系的一个晶胞中画出同时位于 (101)、(011)和 (112)晶面上的 晶向。

解：1、

面心立方结构和体心立方结构中有几种间隙，各有几个？

答：面心立方结构包含 4 个正八面体间隙和 8 个正四面体间隙；体心立方结构包含 6 个正八面体间隙和 12 个正四面体间隙。

2、简述同素异构产生原因。

答：与该类原子的电子层结构的变化有关，即在不同的温度或压力下，通过参与键和的外层数分布状态的改变，而引起原子间结合能以致点阵的形式发生改变，过渡族金属多型性倾向较大，与此结构中的 s 能级和 d 能级十分接近有关

性能：发生多型性转变，由于晶体点阵致密度不同，伴随热胀，

在离子(陶瓷)晶体中正、负离子的堆积方式取决于哪些因素？

答：(1)正、负离子的电荷大小——晶体必须保持电的中性，即所有正离子的正电荷应等于所有负离子的负电荷。(2)正、负离子的相对大小——由于正、负离子的外层电子形成闭合的壳层，因此可以把离子看成具有一定半径的刚性圆球。在离子晶体中，一些原子失去其外层电子而成为正离子另一些则得到外层电子而成为负离子。(答对 (1)、(2) 中的任一点 5 分)

2、简要说明硅酸盐的几种结构单元的主要特点。

答：

#### 第四章 晶体缺陷

1、为什么位错没有平衡浓度？

答：自由能分析：位错是由大量点缺陷串成线，混乱程度受到限制，熵的作用大减，主要考虑内能，位错总是增加内能，位错越多，越不稳定，热力学要求位错越少越好，故位错没有平衡浓度。虽然热力学不稳定，但因其呈网状分布，故力学上是稳定的。

2、简述大角晶界特点；

答：1.过渡层厚度仅 2~3 个原子直径；2.原子排列混乱；3.相对稀疏。

3、简述物理吸附机理及特点。

答：物理吸附是由范德华耳斯力作用而相互吸引的，

特点：任何固体对任何气体或其他原子都有这类吸附作用，（1、吸附无选择性、多层吸附），只是吸附的程度随气体或其他原子的性质不同而有所差异。2、物理吸附的吸附热较小。

4、某晶体中有一条柏氏矢量为  $a [001]$  的位错线，位错线的一端露头于晶体表面，另一端与两条位错线相连接，其中一条的柏氏矢量为  $b$ ，求另一条位错线的柏氏矢量。

答：根据柏氏矢量的守恒性，另一条位错的柏氏矢量为：

5、在图 4-52 所示的晶体中，ABCD 滑移面上有一个位错环，其柏氏矢量  $b$  平行于 AC

(1)指出位错环各部分的位错类型。 (2)在图中表示出使位错环向外运动所需施加的切应力方向。 (3)该位错环运动出晶体后，晶体外形如何变化？

答：(1)位错环和与 AC 平行的直线相切的部分为纯螺位错，位错环和与 AC 垂直的直线相切的部分为纯刃位错，其余部分为混合位错，作图

(2) 切应力与  $b$  平行，作用在晶体上下两面上。 $t \times b \rightarrow$  多余原子面，作图

(3) 沿  $b$  方向滑出一个柏氏矢量单位的距离

## 第五章 材料的相结构及相图

### 1、应用相律时须考虑哪些限制条件？

解：(1) 相律只适用于热力学平衡状态。平衡状态下各相的温度应相等（热平衡）；各相的压力应相等（机械平衡）；每一组元在各相中的化学位必须相同（化学平衡）。

2) 相律只能表示体系中组元和相的数目，不能指明组元或相的类型和含量。

3) 相律不能预告反应动力学（速度）。

4) 自由度的值不得小于零。

2、试指出图 5-115 中的错误之处，并用相律说明理由，且加以改正。

答主要错误如下：

a. 两相平衡自由度不为 0，

b. 纯组元相变，两相平衡， $f=0$ ，温度固定；

c. 二元合金最多只能三相平衡，不能四相平衡，三相平衡时  $f=0$ ，相成分唯一，不能变动。

d. 二元合金最多三相平衡时自由度为零，温度不变，三相平衡线为水平线

### 3、Al—Cu 合金相图，试分析：

(1)什么成分的合金适于压力加工，什么成分的合金适于铸造？

(2)用什么方法可提高合金的强度？

解 (1)压力加工时，要求合金有良好的塑性变形能力，组织中不允许有过多的脆性第二相，所以，要求铝合金中合金元素含量较低，一般不超过极限固溶度的成分。对 Al—Cu 合金，常选用 的合金。该成分合金加热后可处于完全单相状态，塑性好，适于压力加工。

铸造合金要求其流动性好。合金的结晶温度范围愈宽，其流动性愈差。从相图上看，共晶成分的流动性最好，所以，一般来说共晶成分的合金具有优良的铸造性能，适于铸造。但考虑到其它多方面因素，一般选用 的 Al—Cu 合金用于铸造。

(2)要提尚合金的强度，可采用以下方法。

1)固溶+时效处理 将 Al—Cu 合金( )加热到单相状态，然后快速冷却，获得过饱和的固溶体，然后重新加热到一定温度保温，便会析出细小的金属间化合物 ( )作为第二相质点，从而提高合金的强度。

2)冷塑性变形 通过冷变形，产生加工硬化效应，从而提高合金的强度。

## 第六章 材料凝固与气相沉积

1、对于有可能进行结晶的材料，决定液体冷却时是否能结晶或形成玻璃的主要因素有哪些？

答：首先，如果冷却速率足够高，任何液体原则上都可以转变为玻璃。其次，如果晶体结构的基元很难由液相形成，结晶就会延缓而有利于玻璃的形成。例如：金属、陶瓷和聚合物在这方面有本质上的差别。金属晶体的基元只包含几个原子，而且大多只含有一个原子，因此很容易进行结晶。陶瓷晶体一般比较复杂，尽管大多数陶瓷材料可进行结晶，形成玻璃也是常见的，最后，长链高分子的结晶在结构上有以下两个困难：(1)难得会有简单的基元；(2)已有链段在既不使键断开也不重新形成的条件下进行重排，只能通过所有各链段的缓慢扩散来完成。

2、固溶体凝固与纯金属凝固相比有哪些不同？

(1)、固溶体凝固时，结晶出来的固相成分与原液相成分不同，所以固溶体凝固形核时，除需要能量起伏和结构起伏外，还需要成分起伏，因而固溶体凝固形核比纯金属困难；3分

(2)、固溶体凝固需要一定的温度范围，在此温度范围的每一温度下，只能凝固出来一定数量的固相，即固溶体凝固必须依赖异类原子的互相扩散，这需要时间，所以凝固速率比纯金属慢。

#### 5、简述铸锭典型组织

答：通常铸锭的晶粒组织由三个区域组成：最外层由细小的等轴晶粒组成，即细晶粒区；接着是垂直于模壁、长而粗的柱状晶粒区；中心部分也是由等轴晶粒组成，但是比表层的晶粒大，这个区域叫做等轴晶粒区。细晶粒区总是很薄的一层，对性能的影响很小。

根据凝固条件的不同及其它因素的影响，有时只能见到一个或两个晶粒区。例如，不锈钢锭通常只有柱状晶粒区，而没有中心等轴晶粒区，细晶粒区也很薄或没有；而经过晶粒细化处理的铝合金铸锭，其组织全部是等轴晶粒。

#### 6、简述二元合金平衡凝固的特点。

答：二元合金平衡凝固的特点：

- 1、液相中溶质原子通过迁移（对流+扩散）而分布均匀，固相中溶质原子通过扩散也分布均匀；
- 2、固相及液相的成分随温度变化而变化，但在任一温度下都达到平衡状态；
- 3、结晶后晶粒内成分均匀，无宏观偏析及微观偏析。

### 第七章 扩散与固态相变

#### 1、简述晶体结构对扩散的影响。

答：晶体结构反映了原子（离子）在空间排列的情况；扩散时原子要发生移动就必需克服周围原子对它的作用力。原子排列越紧密，原子间的结合力愈强，此时扩散激活能就越大，而扩散系数  $D$  就愈小；因此，晶体结构紧密的物质，扩散激活能就大，扩散系数小。金属的熔点高低和熔化时潜热的大小都能反映金属内

部原子间作用力的大小，反映激活能的高低。金属的熔点越高、熔化时潜热越大，原子排列就越紧密，扩散激活能就越大，扩散系数就越小。

2、调幅分解反应和一般的形核长大机制有何不同？

答：调幅分解反应不需要形核，新相成分变化、结构不变，界面宽泛(初期无明显分界面)，组织均匀规则，原子扩散为上坡扩散，形核转变率高；形核不需克服能垒，但长大需要克服梯度能和表面能；

一般的形核长大需要形核，新相成分、结构均发生变化，界面明晰，组织均匀性差、不规则，原子扩散为下坡扩散，形核转变率低。形核、长大均需克服能垒。

## 第八章 材料的变形与断裂

1、简述孪生的主要特点有哪些？

答 1. ∵孪生是滑移受阻而引起的应力集中区，临界切应力比滑移大，如 Mg 的孪生临界切应力为 5.4~24.3Mpa,滑移:0.49 Mpa;

2.高速形成、爆发式，同时伴随应力集中松弛；

3.孪生本身对晶体形变量小，但改变晶体位向，使不利的滑移面有利于滑移。

2、简述孪生和滑移的主要区别

答：滑移主要特点：

(1)一部分晶体沿滑移面相对于另一部分晶体作切晶体作切变，切变时原子移动的距离是滑移方向原子间距的整数倍；

(2)滑移面两侧晶体位向不变；

(3)滑移所造成的台阶经抛光后，即使侵蚀也不会重现；

(4)滑移是一种不均匀切变，它只集中在某一些晶面上大量进行，而各滑移带之间的晶体并没发生滑移。

与之相对应，孪生主要区别如下：

- (1) 一部分晶体沿孪晶面相对于另一部分晶体作切晶变，切变时原子移动距离不是孪生方向原子间距的整数倍；
- (2) 孪生面两边晶体位向不同，成镜面对称；
- (3) 孪晶经抛光后仍能显现，∴孪生改变晶体取向；
- (4) 孪生是一种均匀切变，即在切变区内，与孪晶面平行的每一层原子面均相对于其比邻晶面沿孪生方向位移了一定距离。

3、影响金属及合金再结晶过程的重要因素有哪些？

答：影响金属及合金再结晶过程的重要因素：

- (1) 为了能够进行再结晶，必须有一个最小变形量，又称临界变形量。
- (2) 变形量愈小(超过临界变形量)，再结晶温度愈高。
- (3) 提高再结晶退火温度可以缩短再结晶完成的时间
- (4) 再结晶后的晶粒尺寸取决于变形量。变形量愈大晶温度愈低，再结晶后的晶粒愈细。
- (5) 原始晶粒尺寸愈大，为了得到相同再结晶温度所需的变形量也愈大；
- (6) 再结晶温度随着金属纯度的提高而降低。固溶合金元素的加入总是提高再结晶温度。

4、简述影响再结晶的因数有那些？

答：1、温度

温度越高，再结晶转变速度  $V_{再}$  越快，完成再结晶所需时间也越短；

2、变形程度。

金属变形程度越大，储存能量越多，再结晶驱动力，因此，再结晶温度也越低，同时， $V_{再}$  也越快，变形量增加至某一程度，再结晶温度基本稳定不变，纯金属变形后， $T_{min} \approx 0.4T_m$  (熔点)

3、原始晶粒尺寸

- (1) 其他条件相同，晶粒越细，变形抗力越大，冷变形后储能越多，再结晶温度越低；

(2) 相同变形度，晶粒越细，晶界总面积越大，可供形核场所越多，形核率越大，故再结晶速率加快。

#### 4、金属或合金成分影响

再结晶温度随金属纯度的提高而降低，固溶合金元素的加入总是提高再结晶温度；微量溶质原子的存在对再结晶有巨大影响，溶质与杂质原子和位错、晶界存在交互作用，偏聚在位错及晶界，对位错及晶界的迁移起阻碍作用，因此不利于在结晶晶核的形核与长大，使再结晶温度上升。

#### 5、简述影响疲劳寿命的因数

答：1、应力集中：如果存在应力集中处，如缺口、孔、键槽或截面突变处，疲劳强度会大大降低。图 824 所示的疲劳失效就起源于钢轴的键槽。如果精心设计，尽可能避免出现应力集中处，就可以使疲劳失效减到最少。

2、表面粗糙度：一般地说，金属试样表面加工愈光滑，疲劳强度就愈高。粗糙的表面会造成应力集中处，有利于疲劳裂纹的形成。

3、表面状态（化学成分）：由于大多数疲劳失效起源于金属表面，任何表面状态的主要变化都会影响到疲劳强度  $\sigma$  例如，钢的表面硬化处理(渗碳、氮化)使表面硬度提高，从而提高了疲劳寿命。反之，脱碳造成热处理钢件表面软化而使疲劳强度降低。在金属表面形成残余压应力层也会提高疲劳寿命。

4、环境：如果金属在承受周期应力时还有一个腐蚀性环境，所造成的腐蚀会大大加速裂纹扩展速率。腐蚀和周期应力对金属的综合作用又称腐蚀疲劳。

#### 6、陶瓷材料力学性能的特点.

特点：1、脆、硬；

2、抗拉强度差别大，0.69~7Gpa，同一材料抗拉、抗压差别大。

#### 7、从拉伸试验如何获得常用的力学性能数据？

答：拉伸试验可用来测定金属材料的力学性能。在拉伸试验中，试样在比较短的时间内，以恒定的速率受到拉伸直至断裂。拉伸试验时由记录纸得出的负荷—伸长曲线可以转换为应力—应变曲线(又称应力—应变图)。从拉伸试验可以获得以下几项力学性能：①弹性模量；②规定非比例伸长应力；③抗拉强度；④断后伸

长率；⑤断面收缩率。这些性能数据对于工程上的结构设计和金属材料检验是很重要的。

8、简述金属或合金成分对再结晶影响？

答：再结晶温度随金属纯度的提高而降低，固溶合金元素的加入总是提高再结晶温度；微量溶质原子的存在对再结晶有巨大影响，溶质与杂质原子和位错、晶界存在交互作用，偏聚在位错及晶界，对位错及晶界的迁移起阻碍作用，因此不利于在结晶晶核的形核与长大，使再结晶温度上升。

9、简述延性断裂的典型断裂过程及特点。

答：金属的延性断裂是在进行了大量塑性变形后发生的，当加在试样上的应力超过其抗拉强度，经过一定时间，试样就会断裂。延性断裂可以分为三个截然不同的阶段：①试样形成缩颈，随后孔洞在颈缩区形成；②颈缩处的孔洞在试样的中心处聚集形成裂纹，并沿垂直于外加应力的方向向试样表面扩展；③当裂纹接近表面时，其方向改变并与拉伸轴成  $45^\circ$  角，结果形成了杯锥状断口。

其特征是裂纹扩展缓慢，断口呈杯锥状。

10、一低碳钢拉伸试样进行试验，如图 (a)所示。拉伸时，其应力-应变曲线如曲线 1 所示，当变形到点 E 时卸载，应力-应变曲线沿曲线 2 下降。试问：

(1)  $\Delta\epsilon_1$ ， $\Delta\epsilon_2$ ， $\Delta\epsilon_3$  各表示什么意义？ $\Delta\epsilon_3 > \Delta\epsilon_2$  说明了什么？

(2)若卸载后又立即加载，应力-应变曲线应如何变化？

解 (1)  $\Delta\epsilon_1$  表示应力去除后不能恢复的变形，即塑性变形。 $\Delta\epsilon_2$  表示应力去除后能够消除的变形，即弹性变形； $\Delta\epsilon_3$  表示屈服前的最大弹性变形量。 $\Delta\epsilon_3 > \Delta\epsilon_2$  说明材料屈服以后，产生了加工硬化现象，强度提高，使得弹性变形量增大。

(2)若卸载以后又立即加载，其应力—应变曲线如图 b 中曲线 3 所示，在第一次拉伸时，已经产生了冷塑性变形，引起了加工硬化效应，在第 2 次拉伸时，应力—应变曲线应沿原卸载路线上升。

11、陶瓷晶体塑性变形有何特点？

解： 作为一类材料，陶瓷是比较脆的。晶态陶瓷缺乏塑性是由于其离子键和共价键造成的。在共价键合的陶瓷中，原子之间的键合是特定的并具有方向性，如图 7—6(a)所示。当位错以水平方向运动时，必须破坏这种特殊的原子键合，而共价键的结合力是很强的，位错运动有很高的点阵阻力。因此，以共价键键合的陶瓷，无论是单晶体还是多晶体，都是脆的。

基本上是离子键结合的陶瓷，它的变形就不一样。具有离子键的单晶体，如氧化铁和氯化钠，在室温受压应力作用时可以进行相当多的塑性变形，但是具有离子键的多晶陶瓷则是脆的，并在晶界形成裂纹。这是因为可以进行变形的离子晶体，如图 7—6(b)所示，当位错运动一个原子间距时，同号离子的巨大斥力，使位错难以运动；但位错如果沿  $45^\circ$  方向而不是水平方向运动，则在滑移过程中相邻晶粒面始终由库仑力保持相吸，因而具有相当好的塑性。但是多晶陶瓷变形时，相邻晶必须协调地改变形状，由于滑移系统较少而难以实现，结果沿晶界产生开裂，最终导致脆性断裂。

## 12、金属铸件能否通过再结晶退火来细化晶粒？

解 再结晶退火必须用于经冷塑性变形加工的材料。其目的是改善冷变形后材料的组织和性能。再结晶退火的温度较低，一般都在临界点以下，若对铸件采用再结晶退火，其组织不会发生相变，也没有形成新晶核的驱动力(如冷变形储存能等)，所以不会形成新晶粒，也就不能细化晶粒。