



北京航空航天大学《材料综合911》考研辅导系列

《金属学原理》考点与考题精讲

第1讲 晶体学基础

主讲人：何 蓓

网学天地
www.e-studysky.com

第一部分 考点精讲

一、金属键及金属的性能特点

在金属晶体中，自由电子是所有金属晶体所共有，并在金属正离子之间运动，形成所谓电子云。

金属键就是电子云和金属正离子之间的静电引力。

1. 金属键特点

- (1) 自由电子公有化。
- (2) 无方向性。
- (3) 无饱和性。
- (4) 不选择结合对象。

2. 金属性能特点

(1) 优异的物理性能。

- ①磁、光、电子、信息、储能等；
- ②优良的导电性及正的电阻温度系数；
- ③优异的导热性。

(2) 优异的力学性能配合。

- ①优异的强韧性配合（高强度~4000MPa；
- ②高塑性及加工硬化；高韧性及损伤容限）；
- ③使用温度范围宽广（高温、中温、室温、低温）且力学性能优异；
- ④优异的耐蚀、耐磨、抗氧化、抗热腐蚀等性能。

(3) 优异的成形加工性能 Processing ability.

- ①优异与灵活的凝固加工成型性能（铸造成型：各种复杂形状及各种重量的零件；焊接成型：同种及异种金属材料的连接制造）；
- ②独特的塑性变形及加工硬化特性与优异的冷加工成型能力（冷轧、冷冲压、冷旋压、冷拔、冷挤压；冷加工过程中同时实现零件及材料的强化）；
- ③优异的热加工成型能力（锻造、热轧、热挤压）。

(4) 独特的抗过载能力及使用安全性（加工硬化）：

- ①零件局部过载，塑性变形，产生加工硬化，材料强度提高，不但不会失效，承载能力反而提高、使用安全；
- ②加工硬化可以避免变形集中、均匀变形、均匀承载、零件材料潜力得以充分利用；
- ③加工硬化可以避免变形集中、材料均匀变形冷加工热加工成形成为可能。

二、金属晶体及其性质

1. 晶体

原子或原子集团在三维空间周期性无限重复排列的物质。

2. 性质

- (1) 高的热力学稳定性;
- (2) 各向异性 (Anisotropy of Properties);
- (3) 宏观性质的均匀性;
- (4) 具有一定的熔点;
- (5) 规则的外形 (外表面为往往低表面能的特殊晶面)。

三、金属非晶及性能特点（北航特色）

1. 原子排列长程无序或短程有序（**Long-range disorder or short-range order**）。
2. 无晶界、无成分偏析、成分完全均匀。
3. 没有固定熔点（玻璃转化温度）。
4. 各向同性（**Isotropic**）。
5. 高强度、无加工硬化、低塑性。
6. 高弹性、高耐蚀、高耐磨。
7. 优异的磁性、储氢性能。

四、材料分类方法及各类材料的优缺点

1. 材料分类方法

按功能分类:

(1) 结构材料 (工程结构用钢、机械制造结构钢、工模具钢等等) ;

(2) 功能材料 (磁性材料、电子材料、超导材料、光电子信息材料、催化材料、储能材料、含能材料等等) 。

2. 陶瓷材料的优缺点

(1) 陶瓷材料性能优点:

- ①共价键及离子键原子间结合键强、化学稳定性高。
- ②高温强度高、耐蚀性好、高温抗氧化性能好。
- ③硬度高、耐磨性优异。
- ④导热系数低、隔热性能好 (TBCs)。
- ⑤不导电，绝缘材料。

(2) 陶瓷材料的性能缺点:

- ①无塑性, 几乎无韧性, 脆性极大, 难承受动载荷, 应用面窄。
- ②对缺陷极其敏感, 无损伤容忍性 (No Damage-Tolerance), 使用不安全。
- ③加工制造困难 (切削加工困难; 无法焊接、锻压、轧制、锚接、无法修复等)。
- ④回收利用 (Recycling) 难度大、成本高。

3. 高分子材料的性能缺点

- (1) 使用温度范围窄（高温软、低温脆）；
- (2) 高温力学性能低、高温老化；
- (3) 低温韧性差、低温脆化；
- (4) 长期化学及力学性能稳定性低。性能退化（**Degradation**）；回收问题（**Recycling**）。

五、复合材料性能特点及存在的问题

1. 复合材料的性能优点

- (1) 有机结合充分发挥各种材料的性质。
- (2) 凭借高明的设计加工合成灵活控制各种性质。
- (3) 实现任何单一组成无法达到的性能。

2. 复合材料的性能缺点 (金属基及陶瓷基)

- (1) 材料制备工艺复杂、成本高。
- (2) 性能一致性差、质量保障技术。
- (3) 缺乏可靠的制造技术(Manufacturing Technologies)。
切削加工、焊接与连接、锻压、轧制、表面处理、修复等
长期性能稳定性及性能退化问题
- (4) 无法回收利用 (Recycling)。

六、空间点阵、晶胞及点阵常数

1. 空间点阵

把基元看成几何点，这些点在三维空间构成空间点阵（Space Lattice）。

空间点阵的定义：将理想晶体每个质点抽象为阵点，这些阵点在空间呈周期性规则排列，并没有完全相同的周围环境，这种由它们在三维空间规则排列的阵列成为空间点阵。
注意：本概念在材料分析测试中也是重点内容

2. 晶胞

在晶格中，能表现出其结构的一切特征的最小部分。以三个平移基矢为棱所作的平行六面体称为点阵晶胞，或称简单晶胞。

七、晶体结构符号 (Pearson符号)

第一个为小写字母代表所属晶系，第二个为大写字母代表点阵类型。

a三斜，**m**单斜，**o**正交，**h**六方，**c**立方。

P简单，**G**底心，**I**体心，**F**面心，**R**菱方。

对比：空间点阵只有十四种，分属于7大晶系：三斜，单斜，斜方，菱方，六方，正方，立方。

八、晶面指数及晶向指数的求法

1. 晶向指数及其求法

- (1) 过坐标原点作晶向的平行线或将该晶向平移至坐标原点。
- (2) 在该晶向上任取一点并以晶格常数为单位求位置坐标值。
- (3) 将坐标值化成最小整数并放入方括号中 $[uvw]$ 。
- (4) 负号写在数字上方，符号相反的两晶向方向相反： $[112]$ 与 $[\bar{1}\bar{1}2]$ 。

2. 晶面指数的求法： (hkl) 求出的为晶面法向量

- (1) 选定坐标系原点或移动晶面使晶面与三坐标轴相截。
- (2) 以晶格常数为单位求晶面与 x 、 y 、 z 三坐标轴的截距。
- (3) 取三截距的倒数并化成最小整数： h ， k ， l 。
- (4) 放入圆括号中（负号写在数字上方）： (hkl)

九、晶面族与晶向族

1. 晶面族 (Family of Crystallographic Planes)

晶体中原子排列规律相同、位向不同的所有晶面（数字相同但次序及负号不同的所有晶面）表示符号{hkl}。

2. 晶向族 (Family of Crystallographic Directions)

原子排列特征相同、位向不同的全部晶向<uvw>。

十、晶带、晶带轴及晶带轴定理

如果一系列非平行晶面都平行于或包含某一特定方向，则这些晶面（ hkl ）同属于一个晶带，这个特定方向称为晶带轴 $[uvw]$ 。

晶带轴定理： $hu + kv + lw = 0$

十一、三种典型晶体结构的配位数、致密度、原子半径

晶体结构中任意原子最近邻等距离的原子数目叫做该晶体结构的配位数。

在相互接触圆球构成的晶胞模型内，原子所占体积 (V_s) 与晶胞体积 (V) 的比值叫做致密度。

体心立方BCC: CN: 8+6; $R = \sqrt{3}a/4$; η : 0.68。

面心立方FCC: CN: 12; $R = \sqrt{2}a/4$; η : 0.74。

密排六方HCP: CN: 6 + 6; $R = a/2$; η : 0.74。

体心立方为非最紧密堆积结构，面心立方和密排六方均为最紧密堆积结构。按照原子排列顺序面心立方为

ABCABCABC结构，密排六方为ABABAB结构。三种晶体结构各有一组原子密排面和密排方向，分别是面心立方的 $\{111\}\langle 110 \rangle$ ，体心立方的 $\{110\}\langle 111 \rangle$ ，密排六方的 $\{0001\}\langle 1120 \rangle$ （分别是最密排面、最密排方向）。

十二、间隙、间隙半径

1. (规律) 密堆积结构中的间隙

四面体间隙数(2)是八面体间隙数(1)的两倍,也是原子数的两倍。四面体间隙: $r \approx 0.225R$; 八面体间隙: $r \approx 0.414R$ 。

2. 间隙的大小

FCC&HCP结构中的间隙: 四面体间隙: $r \approx 0.291R$; 八面体间隙: $r \approx 0.155R$; 间隙数量少、尺寸大; BCC结构中的间隙: 四面体间隙(6): $r \approx 0.291R$; 八面体间隙(3): $r \approx 0.155R$; 扁八面体。

	面心立方 A1	体心立方 A2	密排六方 A3
点阵常数	A	A	a, c (c/a=1.633)
原子半径	$\frac{\sqrt{2}}{4}a$	$\frac{\sqrt{3}}{4}a$	$\frac{a}{2} \left(\frac{1}{2} \sqrt{\frac{a^2}{3} + \frac{a^2}{4}} \right)$
晶胞内原子数	4	2	6
配位数	12	8	12
致密度	0.74	0.68	0.74
四面体间隙 数量	8	12	12
四面体间隙 大小	0.225R	0.291R	0.225R
八面体间隙 数量	4	6	6
八面体间隙 大小	0.414R	0.154R<100> 0.633R<110>	0.414R

这张表必须掌握！其中的晶胞内原子数、间隙的大小要会求，这在材料分析测试中也反复考过。

第二部分 考题精讲

第三部分 典型题精讲

1. 在面心立方晶胞中，ABCD四点构成一个正四面体，四点的坐标分别为A (0, 1/2, 1/2)，B (1/2, 1, 1/2)，C (1/2, 1/2, 0)，D (0, 1, 0)，写出该四面体中四个面的晶面指数及六条边的晶向指数。

答：晶面指数ABC ($\bar{1}\bar{1}1$)，ABD ($\bar{1}11$)，ACD (111)，BCD (11 $\bar{1}$)。

晶向指数AB[110])，AC [$10\bar{1}$]，BC [$0\bar{1}\bar{1}$]，BD [$\bar{1}0\bar{1}$]，CD [$\bar{1}10$]，AD [$01\bar{1}$]。

2. 已知某晶带的晶带轴为 $[1\bar{1}1]$ ，判断下列晶面中，哪些属于该晶带？

(010) ， (110) ， $(\bar{1}10)$ ， $(10\bar{1})$ ， $(\bar{1}1\bar{1})$

(121) ， $(\bar{1}\bar{1}2)$ ， $(21\bar{1})$ ， (132) 。

答：由晶带定理 $(hkl)[uvw]$ ， $uh+vk+wl=0$ 得：

(110) ， $(10\bar{1})$ ， (121) ， (132) 属于该晶带。

谢谢!