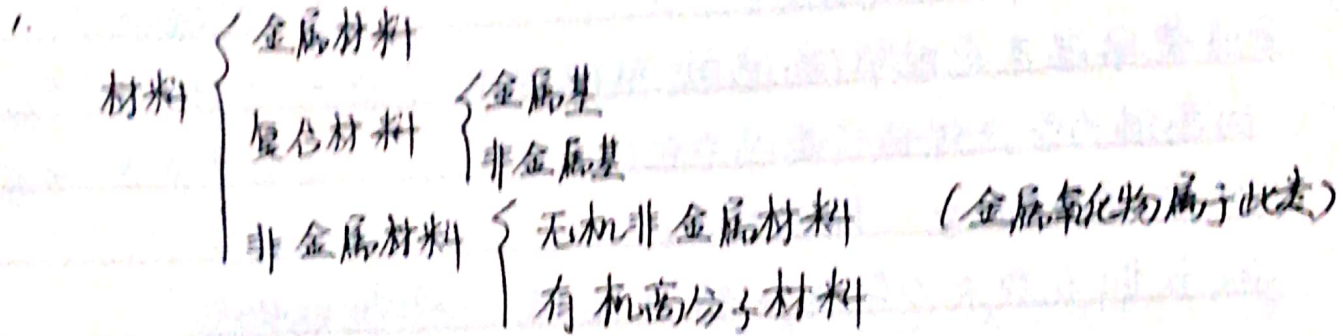


材料

绪论



2. 什么是材料

用于制造有用物件的物质

materials: substances for making useful articles

3. 按功能分类

① 结构材料 (按组成、性质、用途)

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、智能材料)

4. 陶瓷材料的性能优点

(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、耐腐蚀性好、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

5. 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、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、铆接、无法修复等)

(4) 回收利用难度大, 成本高



6. 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 \rightarrow 性能退化
- 5) 回收问题

失效形式 $\left\{ \begin{array}{l} \text{银纹} \\ \text{裂纹} \end{array} \right.$

7. 复合材料的性能优点

- 1) 可灵活组合搭配不同材料, 并充分运用每种材料的优异性能
- 2) 可通过合理地设计和处理, 很好地控制复合材料的性能
- 3) 复合材料实现了单独组分不可能达到的性能

性能优化 \downarrow (性能的组合)

8. 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 (要求高)
- 2) 性能一致性差, 质量保障技术
- 3) 缺乏可靠的制造技术: 切削加工, 焊接与连接, 锻压, 轧制, 表面处理, 修复等。
- 4) 长期性能稳定性及性能退化问题
- 5) 无法回收利用



1. 金属键的特点

- 特点
- 自由电子共有化
 - 无方向性
 - 无饱和性
 - 不选择结合对象

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.

2. 金属材料的特点

(1) 种类繁多 (占周期表三分之二)

(Fe, Al, Ti, Cu, Mg 等很少几个体系)
合金种类及潜力无穷
金属间化合物及其合金.
用量最大 (结构、功能材料)

(2) 优异的物理性能

磁、光、电子、信息、储能等
优良的导电性及正的电阻温度系数
优异的导热性

(3) 优异的力学性能配合

优异的强韧性配合
高强度 $\sim 4000 \text{ MPa}$
高塑性及加工硬化
高韧性及缺陷容限
使用温度范围宽广且力学性能优异
高温
中温
室温
低温
优异的耐蚀、耐磨、抗氧化、抗热腐蚀等性能

(4) 优异的成形加工性能

(良好延展性)

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铸件
焊接成型: 同种及异种金属材料的连接制造
独特的塑性变形及加工硬化特性与优异的冷加工成形能力
冷轧、冷中压、冷旋压、冷拔、冷挤压...
冷加工过程中同时实现零件及材料强化
优异的热加工或成型能力: 锻造、热轧、热挤压



金属材料特有的特点

(5) 独特的抗过载能力及使用安全性 (加工硬化)

零件局部过载 → 塑性变形 → 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

加工硬化 → 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

加工硬化 → 避免变形集中, 材料均匀变形 → 冷加工热加工成型成为可能

(6) 可以采用很多加工工艺手段改变金属材料组织及性能

① 控制铸件及铸锭凝固过程与凝固加工工艺: 晶粒尺寸; 合金相种类、形态、尺寸及其分布; 化学成分及组织均匀性; 形成各种特殊组织...

② 控制固态相变过程 → 金属材料热处理

↓
考例: Al-4Cu 合金 时效处理 G.P. 区

③ 合金化改变合金成分, 材料相组成及性能

④ 塑性变形 (加工硬化) 控制材料性能

⑤ 各种表面强化与表面改性: 喷丸强化, 表面化学热处理 各种表面处理冶金技术.

↓
增强材料表面压应力



晶体学基础

1. 晶体结构, 空间点阵, 晶格常数, 晶向指数, 晶面指数, 晶面间距
2. 掌握金属晶体结构
3. 掌握三种金属晶体结构特点 (计算掌握 致密度, 配位数等)

1. 金属性能特点

(1) 优异的物理性能

(具体描述见上一页)

(2) 优异的力学性能

(3) 优异的成形加工性能

(4) 独特的抗过载能力及使用安全性 (加工硬化)

重要意义

(长程有序)

2. 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

3. 晶体性质: (1) 高的热力学稳定性

(2) 各向异性

(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)

4. 金属非晶及性能特点

- (
- (1) 原子排列长程无序或短程有序
 - (2) 无晶界, 无成分偏析, 成分完全均匀 → 性能均
 - (3) 没有固定熔点 (玻璃转化温度)
 - (4) 各向同性
 - (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

性能



5. 金属非晶态结构特点

① 短程有序 (原子无序排列, 与液态结构相似)

② 无晶界 (不是晶体)

③ 无位错

④ 化学性能均匀

← 骤冷而形成的
保留了液态结构

★ 6. 空间点阵: → 抽象性. 将基元看成几何点

将理想晶体每个质点抽象为阵点, 这些阵点在空间呈

① 周期性规则排列, 并具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点称为空间点阵 简称点阵

7. 7种晶系, 14种布拉维点阵

| | | | | |
|---|----|------------------------|--------------------------|---|
| a | 三斜 | 简单三斜 | $a \neq b \neq c$ | $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$ |
| m | 单斜 | 简单单斜, 底心单斜 | $a \neq b \neq c$ | $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$ |
| o | 正交 | 简单正交, 底心正交, 体心正交, 面心正交 | $a \neq b \neq c$ | $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ |
| h | 六方 | 简单六方 | $a_1 = a_2 = a_3 \neq c$ | $\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$ |
| ● | 菱方 | 简单菱方 | $a = b = c$ | $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$ |
| | 四方 | 简单四方, 体心四方 | $a = b \neq c$ | $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ |
| c | 立方 | 简单立方, 面心立方, 体心立方 | $a = b = c$ | $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ |

8. 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 |

9. * 组成晶体的最小基本单元 (原子或原子集团) 称作基元

将基元看成几何点, 这些点在三维空间构成空间点阵

空间点阵中任何点都具有相同环境 任何点都是等效的



任意立方晶体结构与空间点阵 (14种)

(实际的. 无限多)

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

10. 密勒指数: 表示晶体晶格中不同原子平面 (晶面) 及原子列方向 (晶向) 的一种符号

- ① 晶向指数 $[uvw]$
- ② 晶向族 $\langle uvw \rangle$ 原子排列特征相同, 位向不同
- ③ 晶面指数 (hkl)
- ④ 晶面族 $\{hkl\}$ 原子排列规律相同, 位向不同

12. 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: $hu + kv + lw = 0$

13. 体心 BCC 晶体结构特点之一: 结构不紧密

原子数: 2 $1 + 8 \times \frac{1}{8} = 2$

配位数 CN: 8 (最近点)

原子半径: $R = \frac{\sqrt{3}a}{4}$

致密度: $K = \frac{2 \times \frac{4}{3} \pi R^3}{a^3} = 0.68$

BCC 晶体结构特点之二: 间隙数量多, 尺寸小, 分散, 四面体间隙不对称

八面体间隙: $3 + \frac{12}{4} = 6$ 个 (3个/原子) 间隙半径 $= \frac{a-2R}{2} = 0.155R < 100^\circ$

结构特点: 扁八面体, 不对称

四面体间隙: $\frac{4 \times 6}{2} = 12$ 个 (6个/原子) 间隙半径 $= 0.291R$

结构特点: 对称四面体



14. 面心. FCC 晶体结构特点之一: 结构紧密

原子数: $8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$

配位数: $CN = 12$

原子半径: $R = \frac{\sqrt{2}a}{4}$

致密度: 0.74

FCC 晶体结构特点之二: 间隙数量少, 尺寸大

八面体间隙: $1 + \frac{12}{4} = 4$ 个 (1个/原子)

间隙半径 ~~$\frac{a}{4} - R = \frac{a}{4} - \frac{\sqrt{2}a}{4} = \frac{a}{4}(1 - \sqrt{2})$~~ $2r + 2R = a$

结构特点: 对称八面体

$r = (\sqrt{2} - 1)R = 0.414R$

四面体间隙: 8 个 (2个/原子) 间隙半径

~~$0.225R$~~

结构特点: 对称四面体

15. 三种典型结构的配位数、致密度、原子半径.

① 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

② 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)的比值称为致密度

| | BCC | FCC | Hcp |
|---------|--|-----------------------|---|
| 原子半径 | $\frac{\sqrt{3}}{4}a$ | $\frac{\sqrt{2}}{4}a$ | $\frac{a}{2}$ (否则 $r = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{a^2}{3} + \frac{c^2}{4}}$) |
| CN | 8 | 12 | 12 |
| 原子数 n | 2 | 4 | 6 |
| 致密度 | 0.68 | 0.74 | 0.74 |
| 四面体间隙 | 12 $0.291R$ | 8 $0.225R$ | 12 $0.225R$ |
| 八面体间隙 | 6 $0.154R$ $<100>$ $0.414R$ $<110>$ | 4 $0.414R$ | 6 $0.414R$ |
| 密排方向 | $<111>$ | $<110>$ | $<11\bar{2}0>$ |
| 密排面 | $\{110\}$ | $\{111\}$ | $\{0001\}$ |



金属及其合金结构

一. 金属、合金与组元

1. 金属

具有光泽, 有良好的导电性能、导热性、延展性和机械性能, 并具有正的电阻温度系数的物质。

2. 液态金属的结构:

① 金属熔化时物理性质的变化

① 体积膨胀 $3 \sim 5\%$. 配位数约 11. 原子间距增加 $1 \sim 1.5\%$.

原子间结合力仍很强

② 熔化潜热约为蒸发热的 $3 \sim 7\%$. 原子间结合力仍很强

液态金属的结构更接近固体。

② 液态金属结构特点

① 近程有序

中子散射

② 结构起伏

X射线衍射

③ 成分起伏

③ 液态金属的性能

能量小, 空穴, 裂缝多, 扩散速度快

① 流动性

② 粘度

③ 表面张力

④ 扩散系数

⑤ 电阻

} 较大

3(1) 合金: 由两种或两种以上的金属或非金属经熔炼、烧结或其他方法组合而成并具有金属特性的物质。

1(2) 组元: 组成合金的基本的、独立的物质。可以是金属或非金属元素, 也可以是化合物。



二. 相和组织

1. 相: 是指系统中具有同一聚集状态和晶体结构, 均匀或连续变化的成分, 一致的物理、化学性能并有界面与其他部分分开的均匀组成部分。
2. 组织: 对组成材料相的类型、形状、数量、大小、分布等特征的描述, 特征相同的部分归为一种组织的组成物。

组元 \rightarrow 组织 \rightarrow 相 \rightarrow 合金

3. 相变的三种情况

(1) 晶体结构变化

(2) 成分发生不连续变化

(3) 发生有序程度变化

三. 固态下所形成的合金相包括固溶体和中间相两大类

1. 固溶体 $\left\{ \begin{array}{l} \text{置换式固溶体} \\ \text{间隙式固溶体} \\ \text{有序固溶体} \end{array} \right.$ 以某一组元为溶剂, 在其晶体点阵中溶入其他组元原子(溶质原子)所形成的均匀混合物。固溶体, 保持着溶剂的晶体结构类型。

(1) 置换固溶体: 溶质原子取代了溶剂原子在晶体结构中的位置

(2) 间隙固溶体: 溶质原子处于溶剂组元晶体中的间隙中

(3) 有序固溶体: 异类原子处于相邻

2. 影响固溶强化(固溶度)的因素

(1) 晶体结构: 晶体结构相同是组元之间形成无限固溶体的必要条件

(2) 原子尺寸因素: $\Delta r < 15\%$ 易形成固溶度较大的固溶体

$\Delta r > 15\%$ 时, Δr 越大, 溶解度越小

(3) 化学亲和力(电负性因素) 溶剂与溶质组元的化学亲和力越强

即金属间电负性差越大, 倾向于生成化合物而不利于形成固溶体。

生成的化合物越稳定则固溶体的溶解度越小

(4) 原子价因素 (电子浓度), 即合金中价电子数目与原子数目之比 即 $\frac{Z}{A}$
 $\frac{Z}{A} = \frac{A(100-x) + Bx}{100}$ A, B \rightarrow 溶剂、溶质的原子价 x 为溶质的原子百分数



- * 固溶体性质
- a. 点阵常数改变 间隙 > 置换
 - b. 产生固溶强化 硬度、强度↑
 - c. 物理、化学性能变化

15) 还与温度有关 大多数情况下, 温度升高 固溶度升高

3. 中间相 (晶体结构改变) 可以是化合物或以化合物为基础的固溶体

把合金相图中位置处于中间的结构稳定新相称为中间相

分类

- 正常价化合物
- 电子化合物
- 与原子尺寸有关的化合物和超结构

称第二类固溶体或二次固溶体

- 间隙相 $r_x/r_m < 0.59$
- 间隙化合物 $r_x/r_m > 0.59$
- 拓扑密堆相 (TCP相)

(1) 正常价化合物

AB型: { NaCl型
立方 ZnS
六方 ZnS

AB₂型: CaF₂型

通常熔点、硬度及脆性均较高。

正常价化合物的稳定性与组元间电负性差有关

电负性差越小, 化合物越不稳定, 越趋于金属键结合

电负性差越大, 越趋于离子键结合

(2) 电子化合物 特点: 电子浓度是决定晶体结构的主要因素

电子浓度相同则晶体结构相同, 具有典型金属性质

$$\frac{e}{a} = \frac{A(100 - x) + Bx}{100}$$

A, B: 溶剂、溶质原子价

x: 溶质原子数分数

(3) 与原子尺寸有关的化合物

考虑 ① 间隙相 $r_x/r_m < 0.414$ 非金属原子进入四面体间隙

$r_x/r_m < 0.59$ $r_x/r_m > 0.414$

八面体间隙

一般结构较简单 (fcc, bcc, hcp, 简单立方)

高熔点、高硬度、高耐磨性、各种强化相。

WC, VC, TiC



扫描全能王 创建

② 间隙化合物 $r_x/r_m > 0.59$. 结构复杂
晶体结构复杂, 稳定性相对较低, 硬度相对较低 Fe_3C

③ 拓扑密堆相 [TCP相].

结构特点: ① 由配位数为 12, 14, 15, 16 的配位多面体堆积而成
② 呈层状排列.

① $CN > 12$ (12, 14, 15, 16)

② 间隙全部为四面体间隙, 无八面体间隙

③ 原子间结合力很强 — 共价键

④ 高硬度, 高耐磨, 高耐蚀

* 拉弗斯相 AB_2 . 理论值 $\frac{r_A}{r_B} = 1.255$ 实际 1.05~1.68

拉弗斯相是镁合金中的重要强化相

* σ 相 AB 或 A_xB_y . 成分不固定, 在一定范围内变化
结构很复杂.
硬而脆, 常为有害相

* A_3B 相 $\frac{r_A}{r_B} = 1.12 - 0.84$ 如 Cr_3Si

④ 超结构: 有序固溶体

4. 金属间化合物

由于原子键合、晶体结构的多样性, 使其具有特殊的物理、化学性能.

四. 固溶强化 ☆ 常考重点

以纯金属为溶剂的固溶体由于溶质原子的溶入, ~~在具有较高强度及硬度的同时, 还保持良好的塑性的现象~~

使固溶体的强度和硬度升高.



1. 固溶强化机制 (单相固溶体)

(1) 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

阻碍位错运动

(2) 位错运动改变了溶质原子在固溶体中以短程有序或偏聚形式存在的分布状态,引起系统能量升高,增加了滑移变形的阻力。

(3) 一些溶质原子或杂质原子与位错交互作用形成溶质原子气团对位错有钉扎作用。

溶质原子偏聚于刃位错附近 —— 柯垂尔气团

--- -- 螺位错 --- —— 史氏气团

--- -- 扩展位错层错区 —— 铃木气团

2. 影响固溶体固溶强化作用的因素 ✓

(1) 溶质原子浓度越高,固溶强化的作用越大。

(2) 溶质原子与基体金属原子尺寸相差越大,单位浓度原子引起的点阵畸变越严重,固溶强化效果也就越显著。

(3) 间隙型溶质原子比置换型溶质原子具有较大的固溶强化效果。这是由于间隙原子在体心立方中的点阵畸变属于非对称性的,故其强化作用大于面心立方晶体的。但间隙原子的固溶度很有限,因此实际强化效果很有限。

(4) 溶质原子与基体金属的价电子数相差越大,固溶强化作用越强。

即固溶体的屈服强度随着合金电子浓度的增加而提高。

六. 同素异晶转变及意义。

1. 定义: 由于不同晶体结构的致密度不同,当金属由一种晶体结构变成另一种晶体结构时将会引起质量体积的改变,此为同素异晶转变。

