



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2讲 金属及合金相结构

主讲人：何 蓓

网学天地

www.e-studysky.com

第一部分 考点精讲

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. 合金

是指有两种或两种以上的金属或非金属经熔炼，烧结或其他方式组合而成并具有金属特性的物质。

3. 组元

系统中表示处于平衡状态每个相成分的独立物质。

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。

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（置换、间隙及有序固溶体）

（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：溶质原子位于溶剂组元晶体中的间隙中。

（3）有序固溶体：异类原子趋于相邻。

影响固溶强化的因素

- ①晶体结构：晶体结构相同是组员间形成无限固溶体的必要条件。
 - ②原子尺寸因素：大量试验表明，原子尺寸差 $\Delta r < 15\%$ 时，容易形成溶解度较大的固溶体；而当 $\Delta r > 15\%$ 时， Δr 越大，则溶解度越小。
 - ③化学亲和力（电负性因素），溶剂与溶质组员的化学亲和力越强，即金属组元间电负性差越大，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。
- 另外，影响固溶度的因素除了上述讨论的因素外，固溶度还与温度有关（时效强化），大多数情况下，温度升高固溶度升高。

2. 中间相??

四、固溶强化

固溶强化是指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。

1. 固溶强化的原因（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可以与位错交互作用形成溶质原子气团，对位错有钉扎作用。

原子气团：溶质原子偏聚于刃位错附近——Cottrell气团（柯垂尔）。

溶质原子偏聚于螺位错附近——Snoek气团（史氏）。

溶质原子偏聚于扩展位错层错区——Suzuki气团（铃木）。

2. 影响固溶体固溶强化作用的因素

- (1) 溶质原子的原子分数越高，强化作用越大；
- (2) 溶质原子与基体金属的原子尺寸相差越大，强化作用越大；
- (3) 间隙型溶质原子比置换原子具有更大的固溶效果，这是由于间隙原子在晶胞中的点阵畸变非对称，其强化作用大，但是间隙原子的固溶度有限其强化作用也有限。
- (4) 固溶体的屈服强度随合金电子浓度增加而升高。

五、中间相的结构及其性能特点

中间相包括：正常价化合物、电子化合物、间隙相、间隙化合物、拓扑密堆相[TCP相]。

(1) 正常价化合物 (A_mB_n)：AB型：NaCl型、立方ZnS、六方ZnS； AB_2 型： CaF_2 型。通常熔点、硬度及脆性均较高。

(2) 电子化合物 ($e=(x_N+y_M)/100$)：具有典型的金属性质，电子浓度是决定晶体结构的主要因素。

(3) 与原子尺寸有关的化合物 (包括以下3种)

① 间隙相 ($R_i/R_m < 0.59 \rightarrow$ 间隙相 (FCC, BCC, HCP)) 高熔点、高硬度、高稳定性、高耐磨、各种强化相。如 W_2C , VC, TiC。

② 间隙化合物 ($R_i/R_m > 0.59 \rightarrow$ 间隙化合物 (复杂晶体结构)) 晶体结构复杂、稳定性相对较低、硬度相对较低。如 Fe_3C 。

③ 拓扑密堆相[TCP相]: $CN > 12$ (14, 15, 16); 间隙全部为四面体间隙; 无八面体间隙; 原子间结合力很强—共价键; 高硬度、高耐磨、高耐蚀等。包括: Laves Phases 拉弗斯相; σ phase σ 相; A_3B 相。

Laves Phases $R_A/R_B = 1.225$ 几何条件不是充分条件, 分子式 A_2B ; 拉弗斯相是镁合金中的重要强化相。

σ phase 分子式 AB , 成分不固定、结构很复杂、硬而脆、常常为有害相。

A_3B 相 $R_A/R_B = 1.12 \sim 0.84$, 如 Cr_3Si 。

(4) 超结构：有序固溶体。

(5) 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。

六、同素异晶转变及意义

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有质量体积的跃变，此为同素异晶转变。

同素异晶性是指有些元素在温度或压力变化时，晶体结构发生变化的一种特性。

同素异构转变在固态相变中以及金属能否通过热处理操作来改变它的性能具有重要意义，也是制备新材料须考虑的因素之一。

第二部分 考题精讲

第三部分 典型题精讲

1. 试述置换式固溶体与间隙式固溶体的形成条件、影响固溶度的主要因素及性能特点。

答：（1）置换式固溶体形成的条件：溶质与溶剂原子尺寸相近 $|\delta| < 15\%$ ，电化学性质相似。

影响因素：晶体结构类型影响，原子或离子尺寸影响，电负性影响，电子浓度因素。

（2）间隙式固溶体形成条件：溶质原子较溶剂原子小的多，溶质间隙较大。

影响因素：间隙尺寸与形状，溶质原子大小。

（3）性能特点：两者都可以使强度、硬度高于各组元，塑性降低，但一般间隙固溶体较置换固溶体的固溶强化更显著，且随溶质原子增多，电阻升高。

2. 何谓固溶强化？试分析影响金属固溶强化效果的因素。

答：固溶强化：固溶体的硬度、强度往往高于各组元，而塑性较低的现象。

影响因素：

- (1) 溶质原子的浓度越高，固溶强化的作用越大。
- (2) 溶质与基体金属的原子尺寸相差越大，单位浓度溶质原子所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，且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；但是间隙原子的固溶度很有限，因此实际的强化效果也有限。
- (4) 溶质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。
- (5) 固溶体的有序化是使原子处于低能量的配置状态，但有序固溶体滑移时原子排列受到扰动，系统的能量将要升高，因此变形抗力必然增加。

3. 试比较间隙固溶体与间隙相的结构特征及性能特点。

答：间隙固溶体与间隙相均是原子半径很小的非金属元素处于金属元素间隙而形成，但间隙固溶体形成后其金属晶体结构仍未改变，而间隙相形成后，金属原子则会形成与其本身晶格类型不同的一种新结构。

性能特点：都具有极高的硬度，较高的熔点，而塑性很差，有些间隙相具有很特殊的物理化学性质，如电学性质、磁学性质、声学性质、催化性质等。

4. 组元A具有面心立方晶体结构，组元B固溶于A中形成置换式固溶体，试问 A_3B 还是 A_2B 成分的固溶体更易形成有序固溶体？（材料分析测试中也会考这种题）

答： A_3B 成分的固溶体更易形成有序固溶体，B占据顶点 $8 \times 1/8 = 1$ 个A占据面心 $6 \times 1/2 = 3$ 个，面心立方结构中， A_3B 更易形成有序固溶体。

谢谢!