

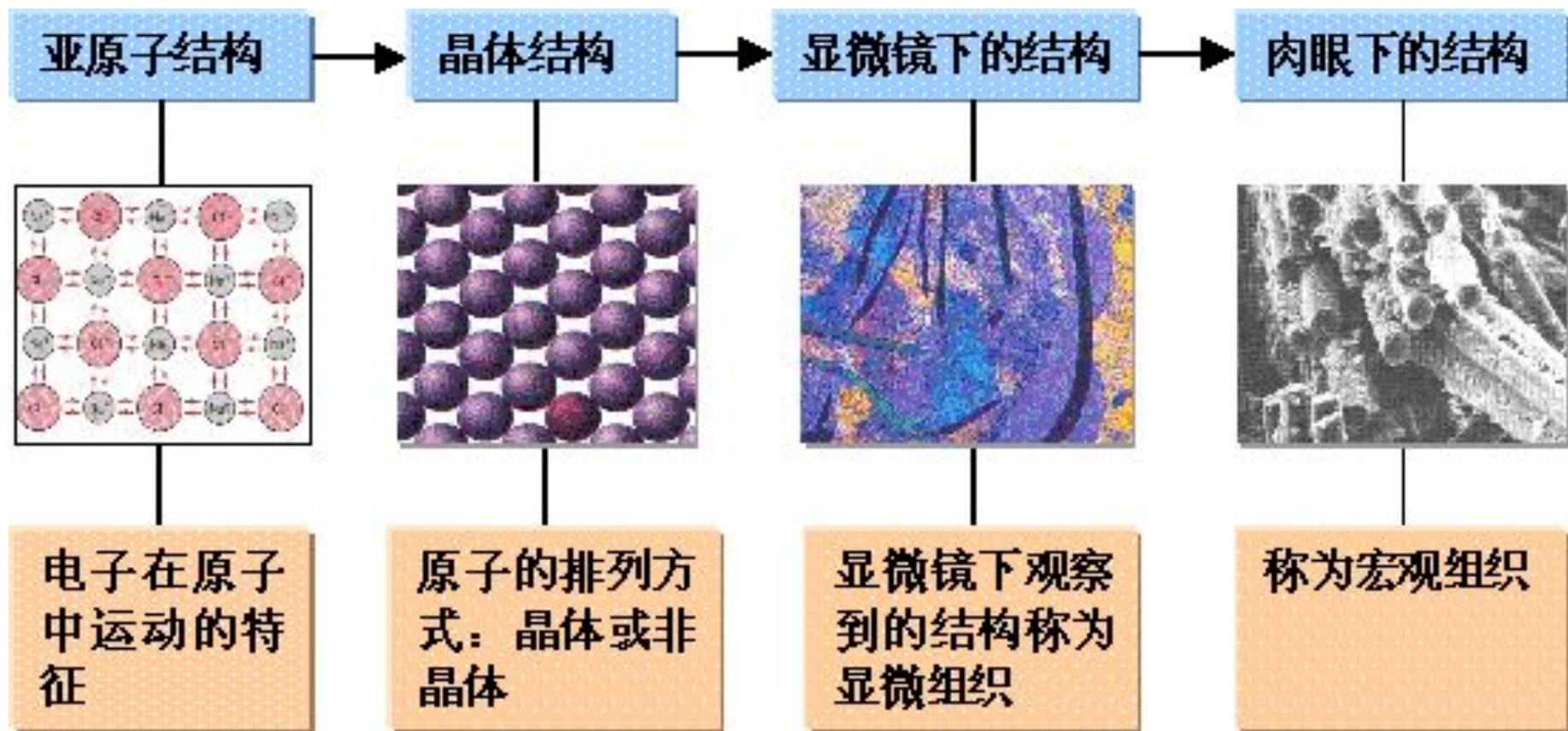


第二讲

材料的结构与性能



一、材料的结构





1. 材料的晶体结构:

(1) 金属的晶体结构:

a. 典型的晶体结构

在金属元素中，约90%以上的金属晶体结构属于如下三种密排的晶格形式:

体心立方(b.c.c)

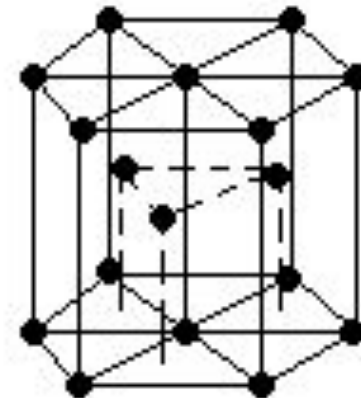
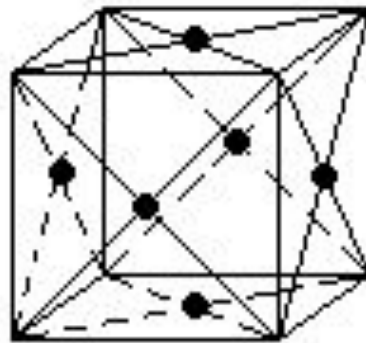
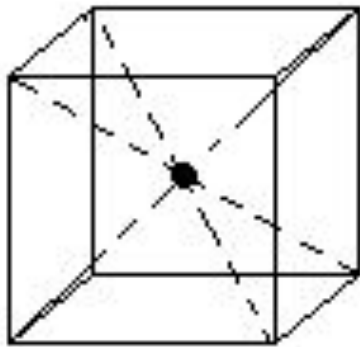
面心立方(f.c.c)

密排六方(h.c.p)

body-centered cubic

face-centered cubic

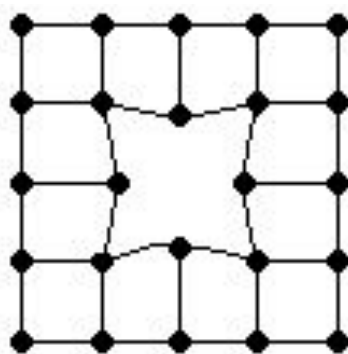
hexagonal close-packed



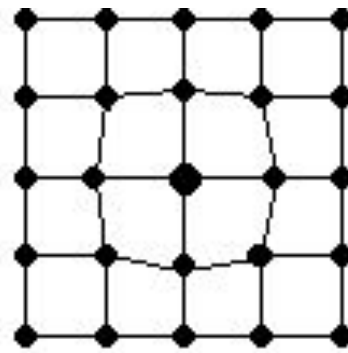


b. 实际的晶体结构

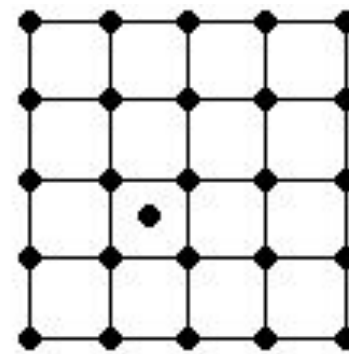
◆ 点缺陷：是一种在三维空间各个方向上尺寸都很小，尺寸范围约为一个或几个原子间距的缺陷。如空位(正常晶格结点上，未被原子占有而空着的位置)、间隙(不占有正常的晶格位置，而处在晶格间隙中的多余原子)、置换原子(置换晶格结点上的原子，占据正常结点)。



空位



置换原子



间隙原子

点缺陷的存在，原子间作用力的平衡被破坏，周围其它原子发生靠拢或撑开的不规则排列，此变化为晶格畸变。





◆**线缺陷**：是在三维空间两维方向尺寸较小，在另一维方向的尺寸相对较大的缺陷。如位错。

位错：是晶体中的某处有一列或若干列原子发生了某种有规律的错排现象。

位错对材料的强度理论有很大贡献。

◆**面缺陷**：是在三维空间一维方向上尺寸很小，另外两维方向上尺寸较大的缺陷。主要是晶界和亚晶界。

多晶体中，晶粒位向不同，存在位向差，晶粒交界处原子排列不一致，存在一个过渡层，即晶界。

实际晶体中，这三种缺陷随加工条件变化而变化，可产生、发展，也可消失，对材料性能有很大影响。



(2) 非金属的晶体结构

a. 陶瓷的组织结构:

陶瓷: 是由金属和非金属的无机化合物所构成的多晶固体物质, 实际上是各种无机非金属材料总称。

晶体结构: 以离子键为主的离子晶体(呈晶态)
以共价键为主的共价晶体(呈非晶态)

组织: 晶相: 是主要组成相。

(主晶相、次晶相、第三晶相) 材料的性能取决于主晶相。

玻璃相: 高温烧结时各组成物与杂质反应后形成的一种非晶态物质。其作用是将分散的晶相粘结在一起, 抑制晶粒长大, 填充气孔。

缺点: 强度低、热稳定性差, 应控制在一定范围。(20~40%)

气相: 即材料中的气孔, 使性能下降。

(若要求材料密度小, 绝热性好, 则希望一定气相)



b. 高分子材料的结构:

高分子材料: 以高分子化合物为主要组分材料。高分子化合物是分子中含原子数很多, 分子量很大的物质。高分子亦称大分子, 高分子化合物又称高聚物或聚合物。

结构:

大分子链的组成: 非金属或非金属元素组成。

大分子链的构型: 即高聚物结构单元的排列顺序和连接方式。

大分子链的形态: 线型结构: 整个分子呈细长线条状

支链型结构: 主链上有一些或长或短支链

体型结构: 在空间呈网状结构。

大分子链的构象: 由于单键内旋引起的原子在空间占据不同位置所构成的分子链的各种形象。 柔性链、刚性链

高聚物的聚集态结构: 晶性高聚物: 排列规则有序无定性

高聚物: 排列规则无序



2. 相:

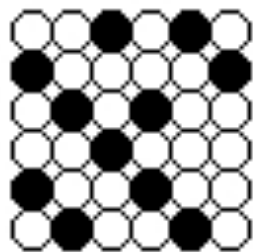
(1) 定义: 具有相同的物理或化学性能并与该系统的其余部分以界面分开的物质部分。(具有同一化学成分、同一结构和原子聚集状态, 并以界面互相分开的、均匀的组成部分)

(2) 相的结构类型:

固溶体: 相的晶体结构与某一组元的晶体结构相同;

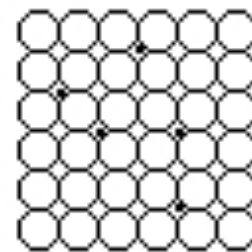
金属化合物: 相的晶体结构与组元的晶体结构均不相同

(3) 固溶体:



○ 溶剂原子
● 溶质原子

置换固溶体



○ 溶剂原子
· 溶质原子

间隙固溶体





(4) 金属化合物(金属间化合物): 是指合金组元间发生相互作用而形成的具有金属特性的新相。此新相可能是另一种固溶体, 也可能是一种晶格类型和性能完全不同于任一合金组元的化合物。

a. 特点: 具有一定的金属性质; 熔点高、硬而脆, 塑性、韧性不高。

b. 种类: 正常价化合物: 符合一般化合物的原子价规律, 成分固定, 可用化学式表示。Mg₂Si

电子化合物: 不遵守原子价规律, 服从电子浓度规律;

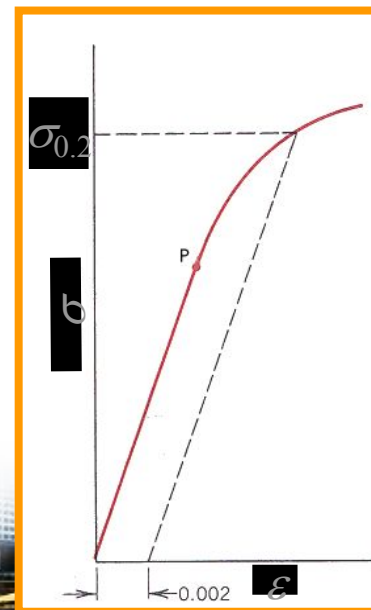
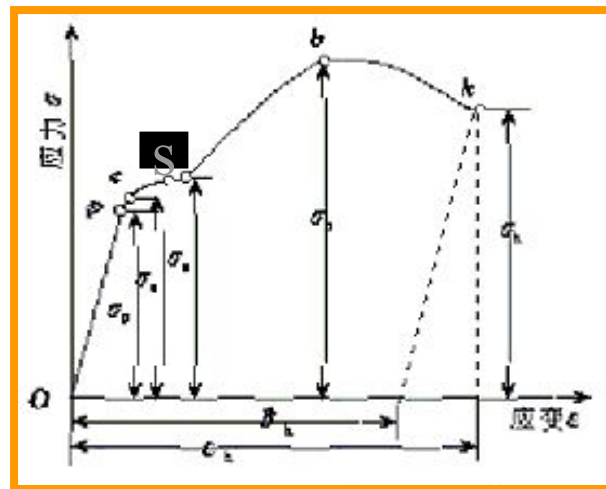
间隙化合物: 过渡族金属元素与C、N、H、B等原子半径较小的非金属元素形成的化合物。

3. 显微组织: 材料中各相及更微观组元(化学或几何学的)的形貌及含量所构成的图象。(显微镜下所观察到的金属中的各种晶粒的大小、形态和分布)

二、材料的性能

1、强度与塑性

- 强度：材料在外力作用下抵抗变形和破坏的能力。
- 屈服强度 σ_s ：材料发生微量塑性变形时的应力值。
- 条件屈服强度 $\sigma_{0.2}$ ：残余变形量为0.2%时的应力值。
- 抗拉强度 σ_b ：材料断裂前所承受的最大应力值。



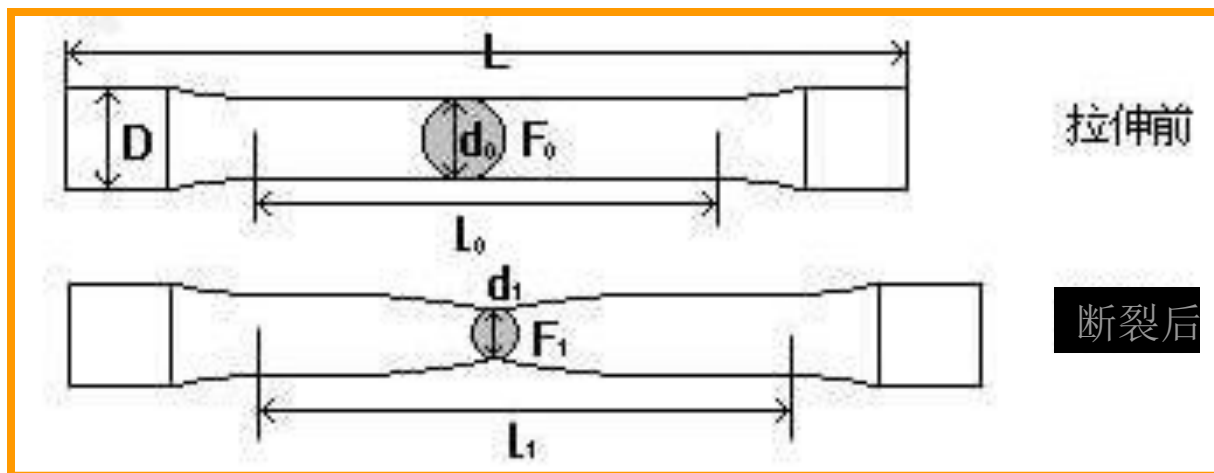


塑性：材料受力破坏前可承受最大塑性变形的能力。

指标为：

伸长率：
$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

断面收缩率：
$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\%$$





2、硬度

- 材料抵抗表面局部塑性变形的能力。

- 布氏硬度HB

$$HB = 0.102 \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

- 洛氏硬度

用符号HR表示， $HR = k - (h_1 - h_0) / 0.002$

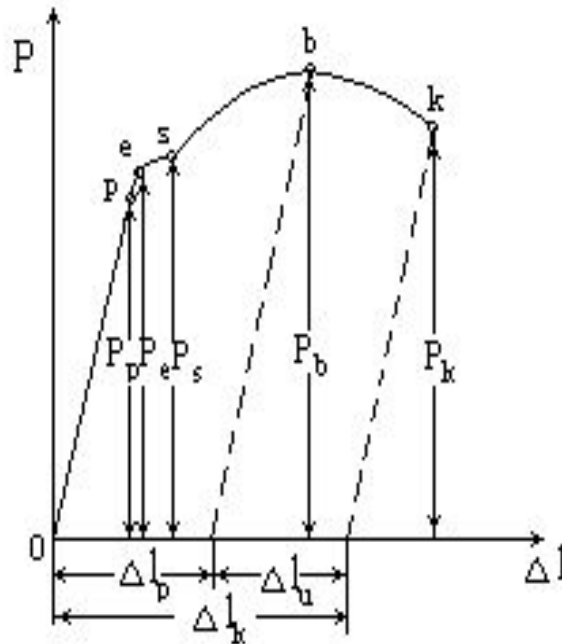
- 维氏硬度

用符号HV表示，符号前的数字为硬度值，后面的数字按顺序分别表示载荷值及载荷保持时间。



3. 韧性:

是强度和塑性的综合表现，是材料从塑性变形到断裂全过程中吸收能量的能力。





韧性的划分:

- (1) 光滑试样——用应力—应变曲线下的面积大小来表征韧性的高低;
- (2) 缺口试样——工程上惯用冲击韧性, 即冲断给定缺口试样所消耗的功, 或试样在冲击条件下从形变到断裂全过程所吸收的能量。有 α_k 及 C_v , 分别为U形和V形缺口。
- (3) 裂纹试样——对于平面应变条件有 G_{Ic} 及 J_{Ic} , 分别为线弹性及弹塑性范围内裂纹扩展单位面积所需的能量。

对于直线穿透型裂纹沿裂纹面扩展时, 有:

$$G_{Ic} = \frac{1-\nu^2}{E} K_{Ic}^2 \quad G_c = \frac{1}{E} K_{Ic}^2$$

裂纹试样的韧性俗称断裂韧性, 实质上是裂纹断裂韧性。



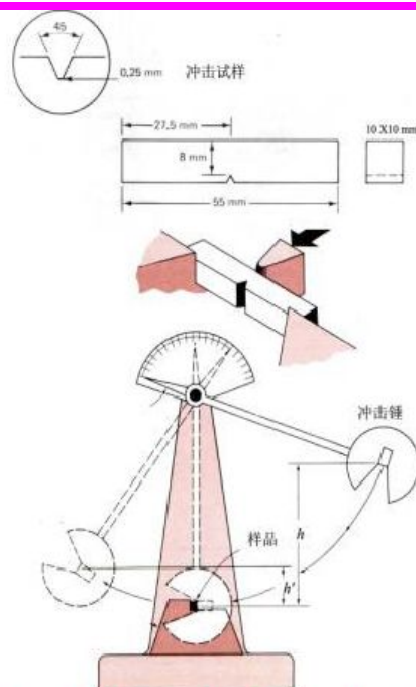
冲击韧性

- 是指材料抵抗冲击载荷作用而不破坏的能力。

- 指标为冲击韧性值 a_k (通过冲击实验测得)。



冲击试验机



冲击试样和冲击试验示意图

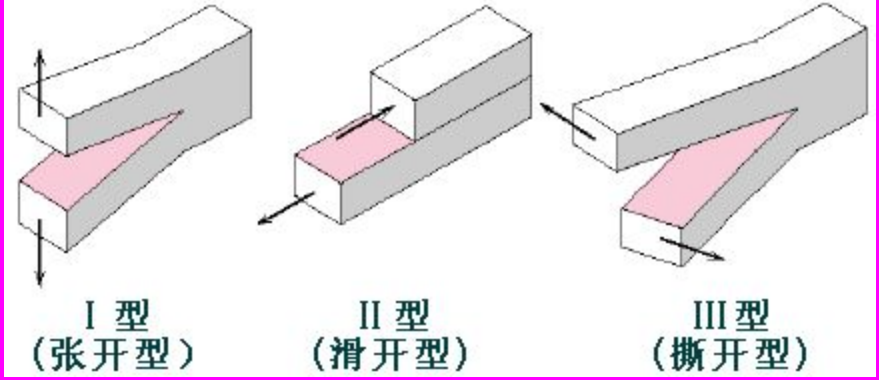




断裂韧性

裂纹扩展的基本形式

油轮断裂和北极星导弹发动机壳体爆炸与材料中存在缺陷有关



1943年美国T-2油轮发生断裂



北极星导弹





$$\sigma_c \propto (a_c)^{-1/2}$$

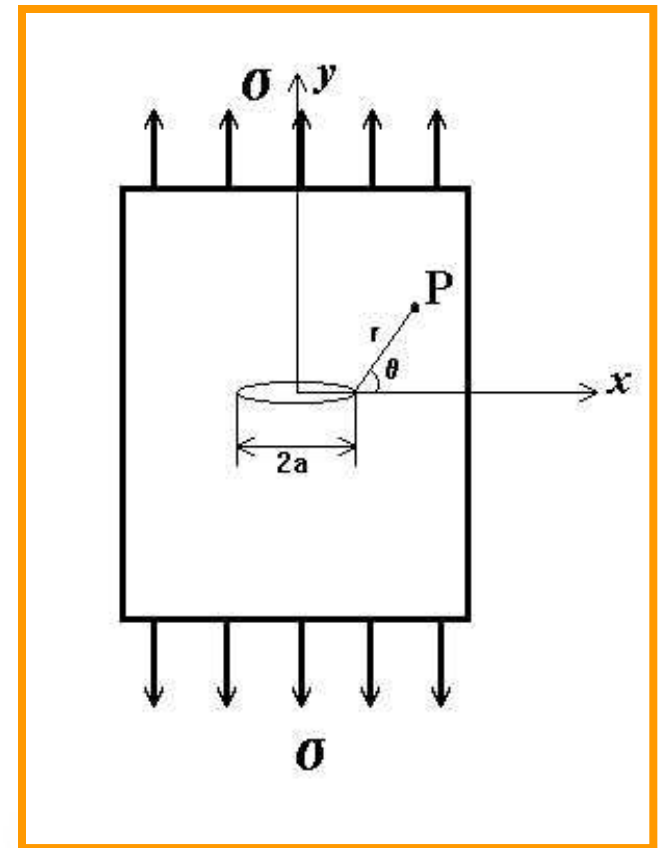
- **应力强度因子**：描述裂纹尖端附近应力场强度的指标。

$$K_I = Y\sigma\sqrt{a}$$

断裂韧性：材料抵抗内部裂纹失稳扩展的能力。

$$K_{IC} = Y\sigma_c\sqrt{a_c}$$

σ_c 为断裂应力， a_c 为临界裂纹半长，单位为 $MN/m^{3/2}$



三、金属的强化

1. 材料强化的类型：

主要有晶界强化、固溶强化、位错强化、沉淀强化和弥散强化、相变强化等。

2. 强化机制：

(1) 晶界强化：

晶界两边相邻晶粒的位向存在位向差，处于原子排列不规则的畸变状态。晶界处位错密度较大，对金属滑移、位错运动起阻碍作用，即晶界处对塑性变形的抗力较晶内为大，使晶粒变形时的滑移带不能穿越晶界，裂纹穿越也困难。因此，当晶粒越细，晶界越多，表现阻碍作用也越大。



(2) 固溶强化:

是利用金属材料内部点缺陷(间隙原子置换原子)对金属基体(溶剂金属)进行强化。它分为两类: 间隙式固溶强化和置换式固溶强化。

- a. 间隙式固溶强化: C、N等间隙原子在基体中与“位错”产生弹性交互作用, 形成“柯氏气团”或“snock”气团。这些在位错附近形成的“气团”对位错的移动起阻碍和钉扎作用, 对金属基体产生强化效应。
- b. 置换式固溶强化: 形成置换式固溶体时, 溶质原子与溶剂的原子尺寸愈接近, 周期表中位置愈相近, 溶解度也愈大。由于溶质原子置换了溶剂晶格结点上的原子, 当原子直径存在差别就会破坏溶剂晶格结点上原子引力平衡, 而使其偏离原平衡位置, 从而造成晶格畸变, 随原子直径差别增加, 造成的畸变程度愈大, 由此造成的强化效果更大。



(3) 位错强化:

金属晶体中的位错是由相变和塑性变形引入的，位错密度愈高，位错运动愈困难，金属抵抗塑性变形的能力就愈大，表现在力学性能上，金属强度提高。

金属有两种强化途径:

一是对有晶体缺陷的实际金属，即存在位错金属，可以通过位错增殖而强化;

二是制成无晶体缺陷的理想金属，使晶体中几乎不存在位错，则金属强化效果会更大。



(4) 沉淀与弥散强化:

一是第二相质点沉淀时，沉淀相在基体中造成应力场，应力场和运动“位错”间交互作用使基体强化；

二是第二相质点和基体处于共格和半共格状态时，质点周围有一个高能区，具有很大的弹性畸变，致使强度、硬度急剧增加而强化，其强化效应可总结为：

- a. 沉淀相的体积比越大，强化效果越显著，要使第二相有足够的数量，必须提高基体的过饱和度；
- b. 第二相弥散度越大，强化效果越好，共格第二相比非共格第二相的强化效能大；
- c. 第二相质点对位错运动的阻力越大，强化效果也越大。



(5) 相变强化:

相变过程中往往伴随体积的变化，引起基体微结构的调整，强度提高。此外，金属中的马氏体相变和贝氏体相变均引起强度的提高，主要是由于位错密度增大，马氏体屈服强度升高，促使材料的强度提高。

3. 强化措施:

- (1) 塑性变形;
- (2) 热处理;
- (3) 加入第二相;
- (4) 合金化。

四、金属的韧化

各类材料的韧性与结构参量间的关系，具有共性的，有如下四项措施：

1. **细化**——细化晶粒或各种显微组织；
2. **纯化**——尽量降低材料中有害杂质的含量；
3. **球化**——球化脆性第二相粒子，减少应力集中系数；
4. **复化**——引入韧性较好的不连续组元，对于裂纹扩展，可以起到如下一些有益的作用：

(a) 裂纹遇到韧性相，由于韧性相不易解理断裂，而塑性变形又要消耗较大能量，因而阻止了裂纹扩展；

(b) 裂纹遇到韧性相，由于直接前进受阻，被迫转向，消耗能量，提高韧性；

(c) 复合结构，如多层板，可以使各层在平面应力下工作，从而提高韧性。

