

第七章 晶体缺陷

第一章所述的晶体结构是理想晶体的结构，但是在实际应用的金属中，总是不可避免地存在着不完整性，即原子的排列都不是完美无缺的。实际金属中原子排列的不完整性称为**晶体缺陷**。按照晶体缺陷的几何形态特征，可以将其分为以下三类：

(1)**点缺陷** (point defect) 其特征是三个方向上的尺寸都很小，相当于原子的尺寸，例如空位 (vacancy)、间隙原子 (interstitial atom)、置换原子 (substitutional atom) 等；

(2)**线缺陷** (line defect) 其特征是在两个方向上的尺寸很小，另一个方向上的尺寸相对很大。属于这一类缺陷的主要是位错 (dislocation)；

(3)**面缺陷** (interfacial defect) 其特征是在一个方向上的尺寸很小，另两个方向上的尺寸相对很大，例如晶界、亚晶界 (subgrain boundary) 等。

7-1 点缺陷

常见的点缺陷有三种，即空位、间隙原子和置换原子，如图 2.11 所示。

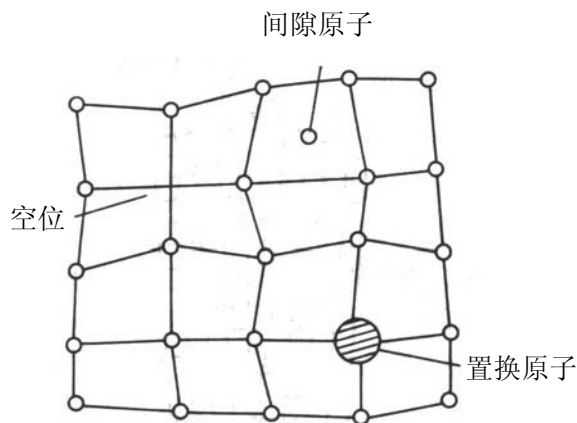


图 2.11 晶体中的点缺陷

一、空位

在实际晶体的晶格中，并不是每个平衡位置都为原子所占据，总有极少数位置是空着的，这就是空位。由于空位的出现，使其周围的原子偏离平衡位置，发生晶格畸变 (distortion)，所以说空位是一种点缺陷。

二、间隙原子

间隙原子就是处于晶格空隙中的原子。晶格中原子间的空隙是很小的，一个

原子硬挤进去，必然使周围的原子偏离平衡位置，造成晶格畸变，因此间隙原子也是一种点缺陷。间隙原子有两种，一种是同类原子的间隙原子，另一种是异类原子的间隙原子。

三、置换原子

许多异类原子溶入金属晶体时，如果占据在原来基体原子的平衡位置上，则称为置换原子。由于置换原子的大小与基体原子不可能完全相同，因此其周围临近原子也将偏离其平衡位置，造成晶格畸变，因此置换原子也是一种点缺陷。

由上可知，不管是哪类点缺陷，都会造成晶格畸变，这将对金属的性能产生影响，如使屈服强度升高、电阻增大、体积膨胀等。此外，点缺陷的存在，还将加速金属中的扩散过程，从而影响与扩散有关的相变化、化学热处理、高温下的塑性变形和断裂等。

7-2 线缺陷

晶体中的线缺陷就是各种类型的位错。**位错**是一种极重要的晶体缺陷，它是在晶体中某处有一列或若干列原子发生了有规律的位错现象，使长度达几百至几万个原子间距、宽约几个原子间距范围内的原子离开其平衡位置，发生了有规律的错动。位错有多种类型，其中最简单、也是最基本的有两种：**刃型位错**（edge dislocation）和**螺型位错**（screw dislocation），如图 2.12 所示。

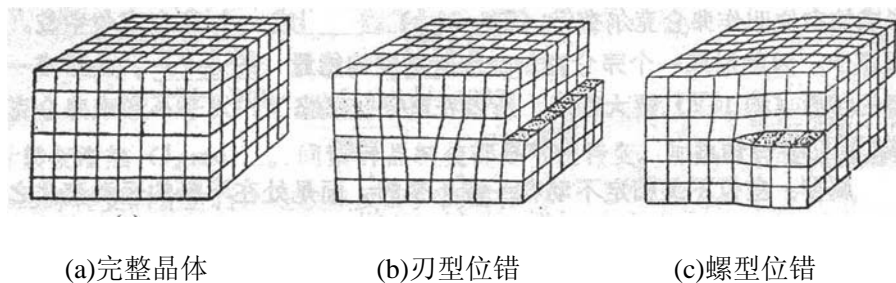


图 2.12 完整晶体和位错

一、刃型位错

刃型位错如图 2.12(b)所示。由图可见，晶体的上半部分已经发生了局部滑移，左边是未滑移区，右边是已滑移区，原子向左移动了一个原子间距。在已滑移区和未滑移区之间，出现了一个多余的半原子面，好象一片刀刃插入晶体，中止在内部。沿着半原子面的“刃边”，晶格发生了很大的畸变，这就是一条刃型位错。如图 2.13 所示，晶格畸变中心的连线就是刃型位错线（图中画“⊥”处）。位错线并不是一个原子列，而是一个晶格畸变的“管道”。

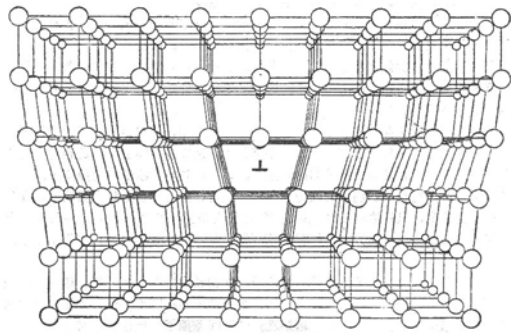


图 2.13 刃型位错

二、螺型位错

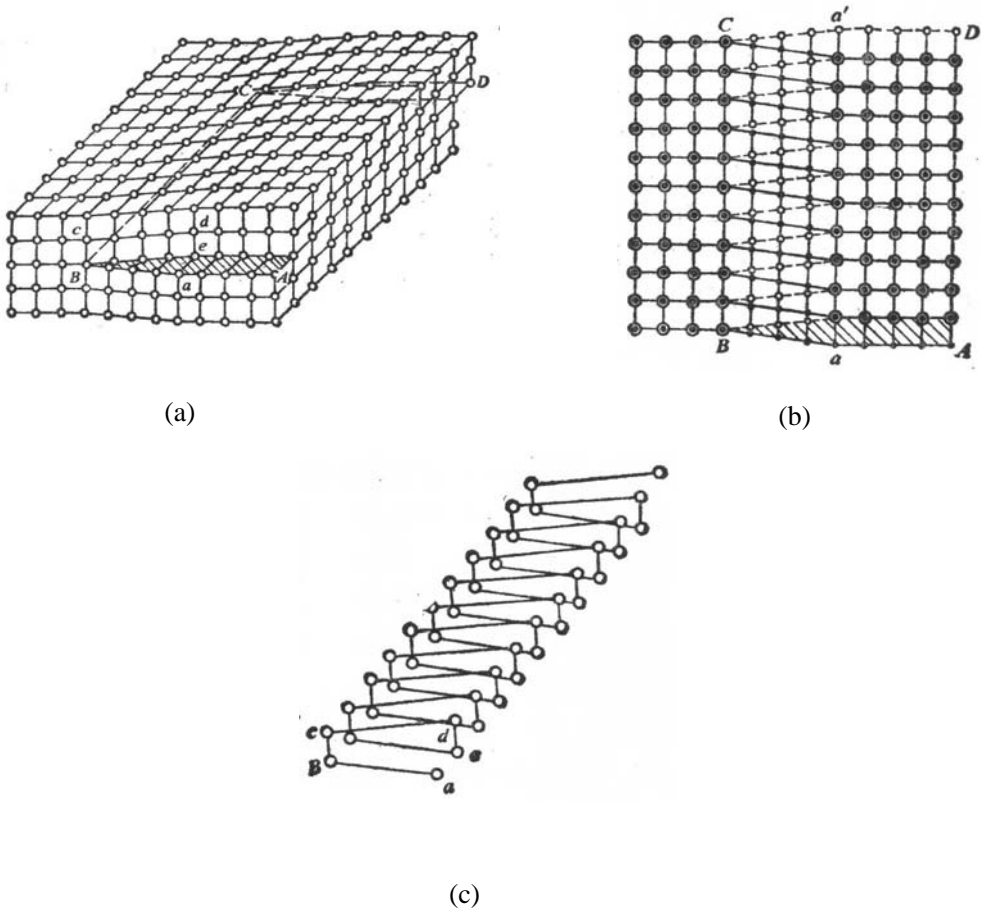


图 2.14 螺型位错

螺型位错如图 2.12(c)所示。由图可见，晶体的上半部分已经发生了局部滑移，左边是未滑移区，右边是已滑移区，原子相对移动了一个原子间距。在已滑

移区和未滑移区之间，有一个很窄的过渡区，如图 2.14 所示。在过渡区中，原子都偏离了平衡位置，使原子面畸变成一串螺旋面。在这螺旋面的轴心处，晶格畸变最大，这就是一条螺型位错。螺型位错也不是一个原子列，而是一个螺旋状的晶格畸变管道。

由上可知，无论是何种位错，都有一个共同点，即：在位错的一边是已滑移区，另一边是未滑移区，位错就是已滑移区和未滑移区在滑移面上的边界线。

位错是一种极为重要的晶体缺陷，它对于金属的强度、断裂和塑性变形等起着决定性的作用。

7-3 面缺陷

晶体中的面缺陷主要有两种：晶界和亚晶界。

一、晶界

多晶体由许多晶粒构成，由于各晶粒的位向不同，晶粒之间存在晶界。当相邻两晶粒位向差小于 15° 时，称为小角度晶界 (low-angle boundary)；位向差大于 15° 时，称为大角度晶界 (high-angle boundary)。

小角度晶界是由一系列位错排列而成的，如图 2.15 所示。大角度晶界的原子排列处于紊乱过渡状态，如图 2.16 所示。

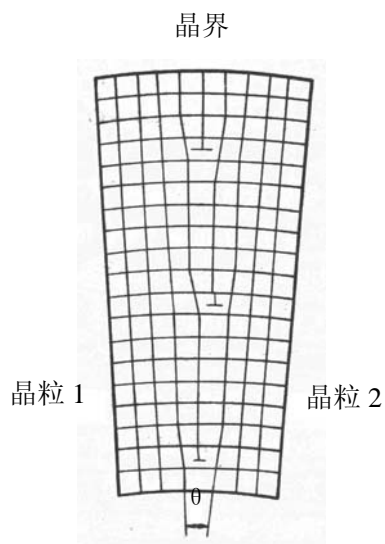


图 2.15 小角度晶界的位错模型

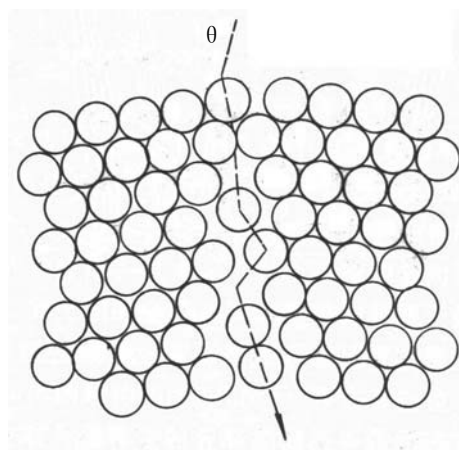


图 2.16 大角度晶界的原子排列示意图

二、亚晶界

即使在一个晶粒内部，原子排列的位向也不完全一致，仍然由许多晶格位向差小于 2° 的小晶块构成。这种小晶块称为亚晶粒 (subgrain)，亚晶粒的边界

称为亚晶界。图 2.17 是 Al-Ni 合金的亚晶粒。

在晶界或亚晶界上，原子的排列偏离平衡位置，晶格畸变较大，位错密度较高，原子处于较高的能量状态，原子的活性较大，所以对金属中的许多过程的进行，具有极为重要的作用。

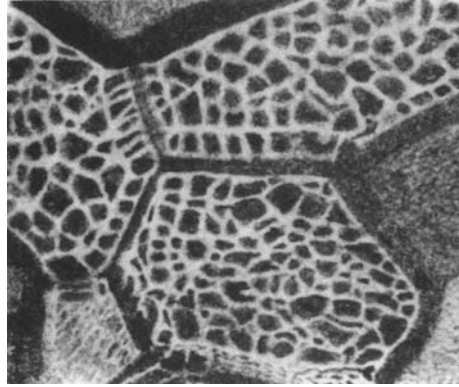


图 2.17 Al-Ni 合金的亚晶粒