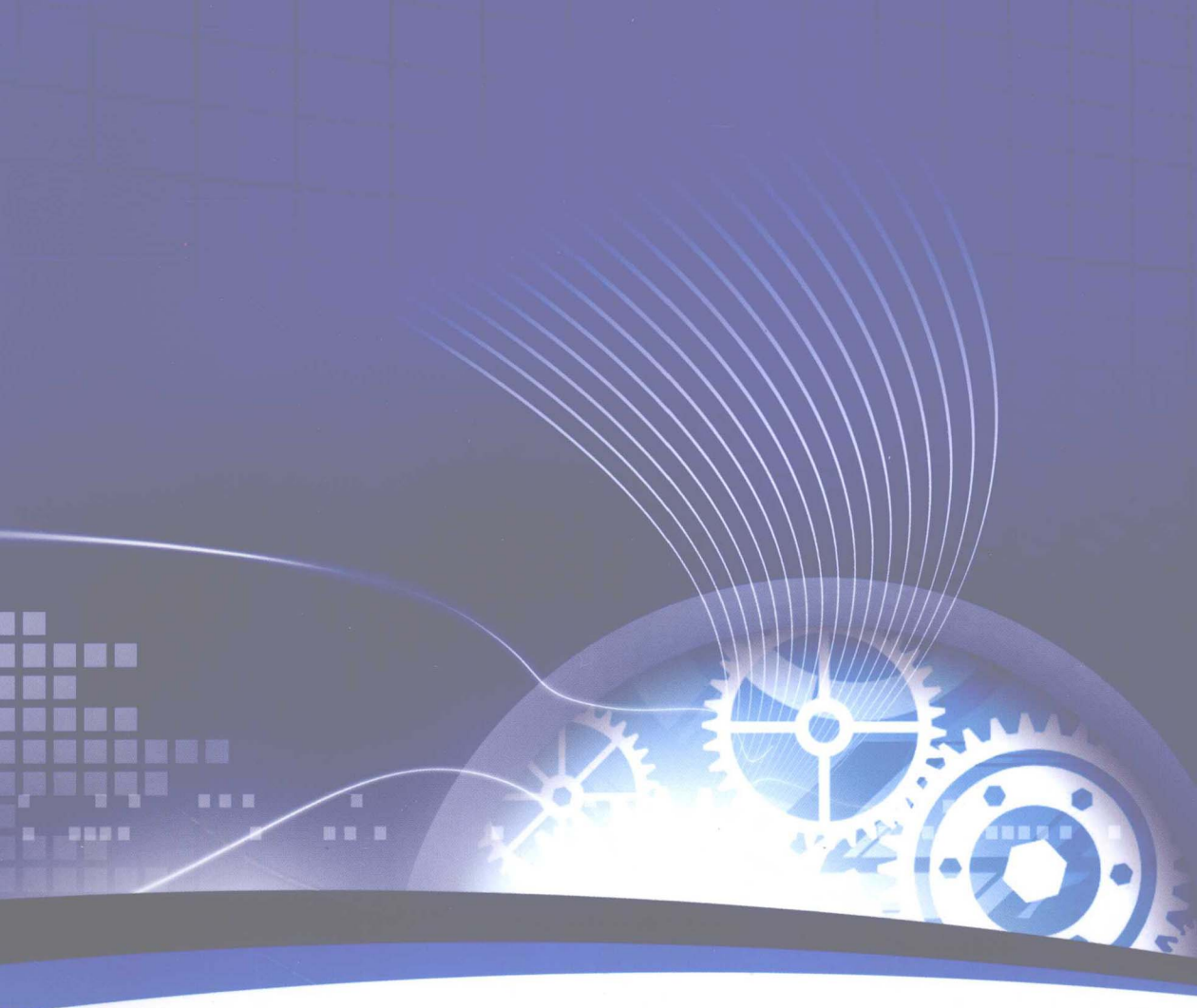




金属材料与热处理 习题与学习指导

(第2版)

JINSHU CAILIAO YU RECHULI XITI YU XUEXI ZHIDAO

◎主 编 于建波 曹毅杰

内 容 简 介

本书共分为知识点+强化训练以及自测题两个部分。知识点简明扼要,层次清晰,重点掌握部分辅以相关例题加深理解,更有大量练习帮助考生将所学知识灵活掌握,理论联系实际以适应考试要求。

本书适用于广大机械模具类相关专业的学生,既可作为教辅资料使用,也可作为自考学生考前冲刺阶段使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

金属材料与热处理习题与学习指导/于建波,曹毅杰主编.—2版.

—北京:北京理工大学出版社,2012.11

ISBN 978-7-5640-6970-4

I. ①金… II. ①于…②曹… III. ①金属材料-高等教育-自学考试-自学参考资料②热处理-高等教育-自学考试-自学参考资料 IV. ①TG1

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第256682号

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/北京兆成印刷有限责任公司

开 本/787毫米×960毫米 1/16

印 张/12.75

字 数/258千字

版 次/2012年11月第2版 2012年11月第1次印刷 责任校对/陈玉梅

定 价/34.00元 责任印制/吴皓云

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

金属材料与热处理技术专业主要是培养金属材料、零部件热处理生产的工艺设计及零部件表面强化、改性及其金属材料性能检测的高等技术应用型人才。学生毕业后适合在冶金等工程领域,从事金属材料应用和零部件热处理工艺的设计、操作及管理;金属材料性能的检测分析,表面改性工艺的操作及管理;适合在外贸部门,从事进出口金属材料的质量检测工作。本书是金属材料与热处理教材的配套用书。

本书总体分为两个层次:

1. 知识回顾+强化训练——将全部考试内容以简明扼要的方式有条理地进行归纳,并将知识分为“了解”、“识记”和“掌握”三个层次,其中★代表需要学生简单了解的内容,★★代表需要学生熟识记忆的内容,★★★则代表学生必须灵活掌握和实践应用的内容。待学生完全掌握各章节的学习内容后,配合强化训练巩固和加强对知识点的理解。

2. 自测题——将历届全国高自考真题或编者通过多年研究而精心编制的模拟题作为学生临考前进行自我验收的工具,使考生做到“心中有数”。

本书适用于广大机械模具类相关专业的学生,既可作为教辅资料使用,也可作为自考学生考前冲刺阶段使用。

编者在编写过程中参阅了大量国内外同行的专著、教材、文献资料等,在此对所参考文献的著作者一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免出现疏漏和错误,敬请各位读者批评指正。

编 者

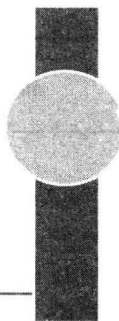
目 录

第一章 金属与合金的晶体结构	(1)
【知识回顾】	(1)
【强化训练一】	(19)
第二章 纯金属的结晶	(22)
【知识回顾】	(22)
【强化训练二】	(41)
第三章 二元合金相图和合金的凝固	(43)
【知识回顾】	(43)
【强化训练三】	(61)
第四章 铁碳合金	(63)
【知识回顾】	(63)
【强化训练四】	(79)
第五章 三元合金相图	(81)
【知识回顾】	(81)
【强化训练五】	(88)
第六章 金属的塑性变形和再结晶	(89)
【知识回顾】	(89)
【强化训练六】	(101)
第七章 钢在加热和冷却时的转变	(102)
【知识回顾】	(102)
【强化训练七】	(122)

第八章 钢的回火转变及合金时效	(125)
【知识回顾】	(125)
【强化训练八】	(130)
第九章 钢的热处理工艺	(133)
【知识回顾】	(133)
【强化训练九】	(141)
自测题	(144)
附录一 强化训练答案	(157)
附录二 自测题答案及解析	(180)
参考文献	(198)

第一章

金属与合金的晶体结构



知识回顾

一、晶体、非晶体；晶胞、晶系

★★1. 晶体与非晶体

晶体与非晶体的区别不在外表，主要在于内部的原子（或离子、分子）的排列情况，凡是原子（或离子、分子）在三维空间按一定规律呈周期性排列的固体，均是晶体；而非晶体则不呈这种周期性的规则排列，例如，玻璃、棉花、木材等就是非晶体。液态金属的原子排列无周期规则性，不为晶体；当凝固成固体后，原子呈周期性规则排列，则变为晶体。在极快冷却的条件下，一些金属可获得固态非晶体，即将液态的原子排列方式保留至固态中。故非晶体又称为“过冷液体”或“金属玻璃”。

★★2. 晶胞与晶系

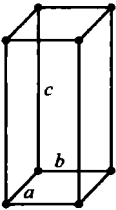
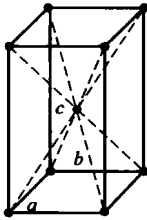
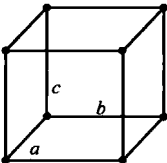
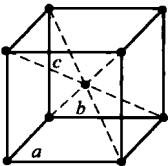
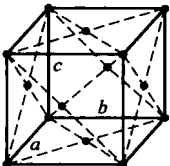
晶胞是晶体的代表，是晶体中的最小单位。晶胞并置起来，则得到晶体。晶胞的代表性体现在以下两个方面：一是代表晶体的化学组成；二是代表晶体的对称性，即与晶体具有相同的对称元素（对称轴、对称面对称中心）。

根据其在晶体理想外形或综合宏观物理性质中呈现的特征对称元素，晶体可划分为立方、六方、三方、四方、正交、单斜、三斜7类，称为7个晶系，分属于3个不同的晶族。见表1-1。

表 1-1 7 个晶系和 14 种点阵

晶系和实例	点阵类型			
	简 单	底 心	体 心	面 心
三斜晶系 $a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$ K_2CrO_7				
单斜晶系 $a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$ $\beta - S$				
正交晶系 $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ $\alpha - S, Fe_3C$				
六方晶系 $a_1 = a_2 = a_3 \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$ Zn, Cd, Mg				
菱方晶系 $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$ As, Sb, Bi				

续表

晶系和实例	点阵类型			
	简 单	底 心	体 心	面 心
四方晶系 $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ $\beta - \text{Sn}, \text{TiO}_2$				
立方晶系 $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ $\text{Fe}, \text{Cr}, \text{Cu}, \text{Ag}$				

二、晶面指数与晶向指数

在晶体中，由一系列原子所组成的平面称为晶面，任意两个原子之间连线所指的方向称为晶向。为了便于研究和表述不同晶面和晶向的原子排列情况及其在空间的位向，需要有一种统一的表示方法，这就是晶面指数和晶向指数。

★★1. 晶向指数

晶向指数的确定步骤如下：

- ① 以晶胞的三个棱边为坐标轴 x 、 y 、 z ，以棱边长度（即晶格常数）作为坐标轴的长度单位。
- ② 从坐标原点引一有向直线平行于待定晶向。
- ③ 在所引有向直线上任取一点（为了分析方便，可取距原点最近的那个原子），求出该点在 x 、 y 、 z 上的坐标值。
- ④ 将三个坐标值按比例化为最小简单整数，依次写入方括号中，即得所求的晶向指数。

通常以 $[u, v, w]$ 表示晶向指数的普遍形式，若晶向指向坐标的负方向时，则坐标值中出现负值，这时在晶向指数的这一数字之上冠以负号。

应当指出，只有对于立方结构的晶体，改变晶向指数的顺序，所表示的晶向上的原子排列情况才完全相同，这种方法对于其他结构的晶体则不一定适用。

★★2. 晶面指数

晶面指数的确定步骤如下：

① 以晶胞的三条相互垂直的棱边为参考坐标轴 x 、 y 、 z ，坐标原点应位于待定晶面之外，避免出现零截距。

② 以棱边长度（即晶格常数）为度量单位，求出待定晶面在各轴上的截距。

③ 取各截距的倒数，并化为最小简单整数，放在圆括号内，即为所求的晶面指数。

晶面指数的一般表示形式为 (h, k, l) 。如果所求晶面在坐标轴上的截距为负值，则在相应的指数上加一负号，如 $(\bar{h}, k, l)$ 、 $(h, \bar{k}, l)$ 等。

与晶向指数相似，某一晶面指数并不只代表某一具体晶面，而是代表一组相互平行的晶面，即所有相互平行的晶面都具有相同的晶面指数。这样一来，当两个晶面指数的数字和顺序完全相同而符号相反时，则这两个晶面相互平行，它相当于用 -1 乘以某一晶面指数中的各个数字。

在同一种晶体结构中，有些晶面虽然在空间的位向不同，但其原子排列情况完全相同，这些晶面均属于一个晶面族，其晶面指数用大括号 $\{h, k, l\}$ 表示。

★★三、多晶型性

大部分金属只有一种晶体结构。但也有少数金属，如 Fe、Mn、Ti、Co 等具有两种或几种晶体结构，即具有多晶型。当外部条件（如温度和压强）改变时。金属内部由一种晶体结构向另一种晶体结构的转变称为多晶型转变或同素异晶转变。由于不同的晶体结构具有不同的致密度，因而当发生多晶型转变时，将伴有比热容或体积的突变。除体积变化外，多晶型转变还会引起其他性能的变化。

四、三种典型金属晶体的原子排列方式、晶胞原子数、配位数、致密度、密排晶向与密排晶面

★★1. 体心立方晶格

体心立方晶格的晶胞模型如图 1-1 所示。晶胞的三个棱边长度相等，三个轴间夹角均为 90° ，构成立方体。除了在晶胞的八个角上各有一个原子外，在立方体的中心还有一个原子。具有体心立方结构的金属有： α -Fe、Cr、V、Nb、Mo、W 等 30 多种。

(1) 原子半径

在体心立方晶胞中，原子沿立方体对角线紧密地接触着，如图 1-1 (a) 所示。设晶胞的点阵常数（或晶格常数）为 a ，则立方体对角线的长度为 $\sqrt{3}a$ ，等于 4 个原子半径，所以体心立方晶胞中的原子半径 $r = \frac{\sqrt{3}}{4}a$ 。

(2) 原子数

由于晶格是由大量晶胞堆垛而成，因而晶胞每个角上的原子为与其相邻的 8 个晶胞所共

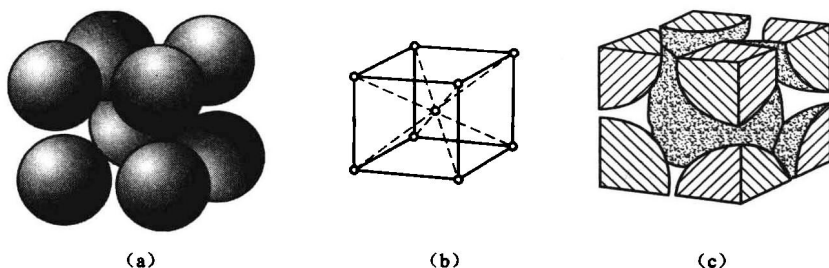


图 1-1 体心立方晶胞

(a) 刚球模型; (b) 质点模型; (c) 晶胞原子数

有, 故只有 $\frac{1}{8}$ 个原子属于这个晶胞, 晶胞中心的原子完全属于这个晶胞, 所以体心立方晶胞中的原子数为 $8 \times \frac{1}{8} + 1 = 2$, 如图 1-1 (c) 所示。

(3) 配位数和致密度

晶胞中原子排列的紧密程度也是反映晶体结构特征的一个重要因素, 通常用两个参数来表征, 一个是配位数, 另一个是致密度。

① 配位数。所谓配位数是指晶体结构中, 与任一个原子最近邻、等距离的原子数目。显然, 配位数越大, 晶体中的原子排列便越紧密。在体心立方晶格中, 以立方体中心的原子来看, 与其相邻且等距离的原子数有 8 个, 所以体心立方晶格的配位数为 8。

② 致密度。若把原子看成刚性圆球, 那么原子之间必然有空隙存在, 原子排列的紧密程度可用晶胞中原子所占体积与晶胞体积之比表示, 称为致密度或密集系数, 可用下式表示

$$K = \frac{nV_1}{V}$$

式中, K 为晶体的致密度; n 为一个晶胞实际包含的原子数; V_1 为一个原子的体积; V 为晶胞的体积。

体心立方晶格的晶胞中包含有 2 个原子, 晶胞的棱边长度 (晶格常数) 为 a , 原子半径为 $r = \frac{\sqrt{3}}{4}a$, 其致密度为

$$K = \frac{nV_2}{V} \approx 0.68$$

此值表明, 在体心立方晶格中, 有 68% 的体积为原子所占据, 其余 32% 为间隙体积。

★ ★ 2. 面心立方晶格

面心立方晶格的晶胞如图 1-2 所示。在晶胞的 8 个角上各有 1 个原子, 构成立方体, 在立方体 6 个面的中心各有 1 个原子。γ-Fe、Cu、Ni、Al、Ag 等约 20 种金属具有这种晶

体结构。

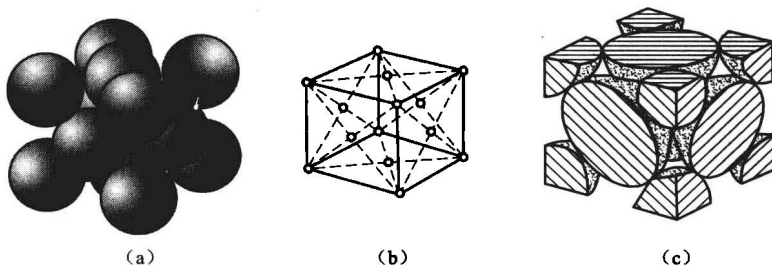


图 1-2 面心立方晶胞

(a) 刚球模型；(b) 质点模型；(c) 晶胞原子数

由图 1-2 可以看出，每个角上的原子为 8 个晶胞所共有，每个晶胞实际占有该原子的 $1/8$ ，而位于 6 个面中心的原子同时为相邻的两个晶胞所共有，每个晶胞只分到面心原子的 $1/2$ 。因此面心立方晶胞中的原子数为 $1/8 \times 8 + 1/2 \times 6 = 4$ 。

在面心立方晶胞中，只有沿着晶胞 6 个面的对角线方向的原子才是互相接触的。若立方体边长为 a ，则面对角线的长度为 $\sqrt{2}a$ ，它与 4 个原子半径的长度相等，所以面心立方晶胞的原子半径 $r = \frac{\sqrt{2}}{4}a$ 。

从图 1-3 可以看出，以面中心那个原子为例，与之最近邻的是它周围顶角上的 4 个原子，这 5 个原子构成了一个平面，这样的平面共有 3 个，3 个面彼此相互垂直，结构形式相同，所以与该原子相邻且等距离的原子共有 $12(4 \times 3)$ 个，因此面心立方晶格的配位数为 12。

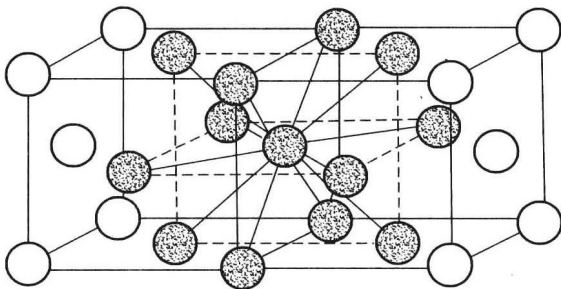


图 1-3 面心立方晶格的配位数

由于面心立方晶胞中的原子数和原子半径是已知的，因此可以计算出它的致密度为

$$K = \frac{nV_1}{V} \approx 0.74$$

此式表明，在面心立方晶格中，有 74% 的体积为原子所占据，其余 26% 为间隙体积。

★★3. 密排六方晶格

密排六方晶格的晶胞如图 1-4 所示。在晶胞的 12 个角上各有 1 个原子，构成六方柱体，上底面和下底面的中心各有 1 个原子，晶胞内还有 3 个原子。具有密排六方晶格的金属有 Zn、Mg、Be、 α -Ti、 α -Co、Cd 等。

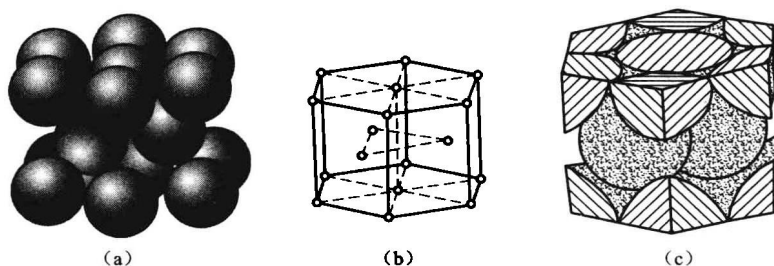


图 1-4 密排六方晶胞

(a) 刚球模型；(b) 质点模型；(c) 晶胞原子数

晶胞中的原子数可参照图 1-4 (c) 计算如下：六方柱每个角的原子均属 6 个晶胞所共有，上、下底面中心的原子同时为两个晶胞所共有，再加上晶胞内的 3 个原子，故晶胞中的原子数为： $1/6 \times 12 + 1/2 \times 2 + 3 = 6$ 。

密排六方晶格的晶格常数有两个：一是正六边形的边长 a ；另一个是上、下两底面之间的距离 c 。 c 与 a 之比 c/a 称为轴比。在典型的密排六方晶格中，原子刚球十分紧密地堆垛排列。如晶胞上底面中心的原子，它不仅与周围 6 个角上的原子相接触，而且与其下面的 3 个位于晶胞之内的原子以及与其上相邻晶胞内的 3 个原子相接触（图 1-4），故配位数为 12，此时的轴比 $c/a = \sqrt{\frac{8}{3}} \approx 1.633$ 。但是，实际的密排六方晶格金属，其轴比或大或小地偏离这一数值，在 1.57 ~ 1.64 范围内波动。

对于典型的密排六方晶格金属，其原子半径为 $a/2$ ，致密度为

$$K = \frac{nV_1}{V} \approx 0.74$$

密排六方晶格的配位数和致密度均与面心立方晶格相同，这说明这两种晶格晶胞中原子的紧密排列程度相同。

★★4. 晶体中的原子堆垛方式

晶体中的原子堆垛方式。对各类晶体的配位数和致密度进行分析计算的结果表明，配位数以 12 为最大，致密度以 0.74 为最高。因此，面心立方晶格和密排六方晶格均属于最紧密排列的晶格。

现仍采用晶体的刚球模型, 图 1-5 (a) 所示为在一个平面上原子最紧密排列的情况, 原子之间彼此紧密接触。这个原子最紧密排列的平面 (密排面), 对于密排六方晶格而言是其底面, 对于面心立方晶格而言, 则为垂直于立方体空间对角线的对角面。可以把密排面的原子中心连接成六边形网络, 该六边形网络又可分为 6 个等边三角形, 而这 6 个三角形的中心又与原子的 6 个空隙中心相重合 (图 1-5 (b))。从图 1-5 (c) 可以看出, 这 6 个空隙

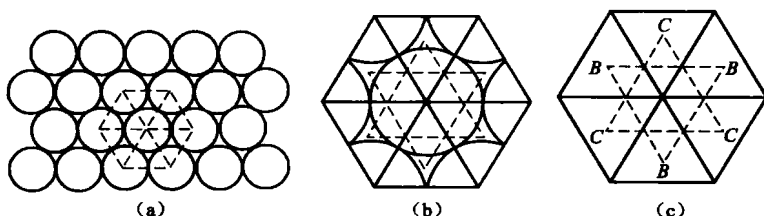


图 1-5 最密排面上原子排列示意图

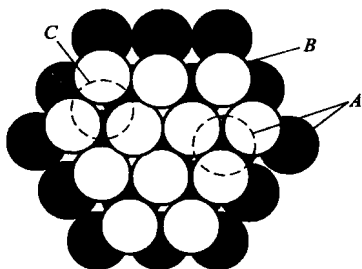


图 1-6 面心立方晶体和密排六方晶格的原子堆垛

可分为 B 、 C 两组, 每组分别构成一个等边三角形。为了获得最紧密排列, 第二层密排面 (B 层) 的每个原子应当正好坐落在下面一层 (A 层) 密排面的 B 组空隙 (或 C 组) 上, 如图 1-6 所示。关键是第三层密排面, 它有两种堆垛方式: 第一种是第三层密排面的每个原子中心正好对应第一层 (A 层) 密排面的原子中心, 第四层密排面又与第二层重复, 依此类推。因此, 密排面的堆垛顺序是 $ABABAB\cdots$, 按照这种堆垛方式, 即构成密排六方晶格。第二种堆垛方式是第三层密排面 (C 层) 的每个原子中不与第一层密排面的原子中心重复, 而是位于既是第二层原子

空隙中心, 又是第一层原子的空隙中心处。之后, 第四层的原子中, B 与第一层的原子中心重复, 第五层又与第二层重复, 依此类推, 它的堆垛方式为 $ABCABCABC\cdots$, 这就构成了面心立方晶格。由此可见, 两种晶格的堆垛方式虽然不同, 但其致密程度却是完全相同的。

在体心立方晶胞中, 除位于体心的原子与位于顶角的 8 个原子相切外, 8 个顶角上的原子彼此间并不相互接触。显然, 原子排列较为紧密的面相当于连接晶胞立方体的两个斜对角线所组成的面, 若将该面取出并向四周扩展, 则可画出如图 1-7 (a) 所示的形式。由图可以看出, 这层原子面的空隙是由 4 个原子构成的, 而密排六方晶格和面心立方晶格密排面的空隙是由 3 个原子构成的, 显然, 前者的空隙比后者大。原子排列的紧密程度较差, 通常称其为次密排面。为了获得较为紧密的排列, 第二层次密排面 (B 层) 应坐落在第一层 (A 层) 的空隙中心上, 第三层的原子位于第二层的原子空隙处, 并与第一层的原子中心相重复, 依此类推。因而它的堆垛方式为 $ABABAB\cdots$, 由此构成体心立

方晶格, 如图 1-7 (b) 所示。

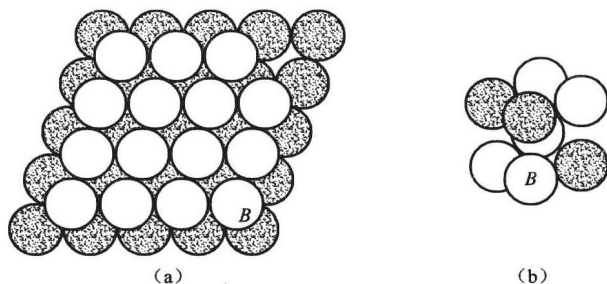


图 1-7 体心立方晶格原子的堆垛方式

五、合金中的相及其结构

由两种或两种以上的金属或金属与非金属, 经熔炼、烧结或其他方法组合而成并具有金属特性的物质称为合金。

组成合金最基本的、独立的物质称为组元, 或简称为元。一般来说, 组元就是组成合金的元素, 也可以是稳定的化合物。当不同的组元经熔炼或烧结组成合金时, 这些组元间由于物理的或化学的相互作用, 形成具有一定晶体结构和一定成分的相。相是指合金中结构相同、成分和性能均一并以界面相互分开的组成部分。由一种固相组成的合金称为单相合金, 由几种不同相组成的合金称为多相合金。不同的相具有不同的晶体结构, 虽然相的种类极为繁多, 但根据相的晶体结构特点可以将其分为固溶体和金属化合物两大类。

★1. 固溶体

合金的组元之间以不同的比例相互混合, 混合后形成的固相的晶体结构与组成合金的某一组元的相同, 这种相就称为固溶体, 这种组元称为溶剂, 其他的组元即为溶质。工业上所使用的金属材料, 绝大部分是以固溶体为基体的, 有的甚至完全由固溶体所组成。例如, 广泛应用的碳钢和合金钢, 均以固溶体为基体相, 其含量占组织中的绝大部分。因此, 对固溶体的研究有很重要的实际意义。

(1) 固溶体的分类

根据固溶体的不同特点, 可以将其进行分类。

① 按溶质原子在晶格中所占位置分类 (如图 1-8 所示)。

a. 置换固溶体。置换固溶体是指溶质原子位于溶剂晶格的某些结点位置所形成的固溶体, 犹如这些结点上的溶剂原子被溶质原子所置换一样, 因此称之为置换固溶体。

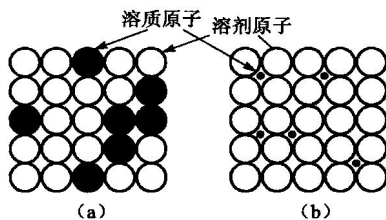


图 1-8 固溶体的两种类型
(a) 置换固溶体; (b) 间隙固溶体

b. 间隙固溶体。溶质原子不是占据溶剂晶格的正常结点位置，而是填入溶剂原子间的一些间隙中。

② 按固溶度分类。

a. 有限固溶体。在一定条件下，溶质组元在固溶体中的浓度有一定的限度，超过这个限度就不再溶解了。这一限度称为溶解度或固溶度，这种固溶体就称为有限固溶体。大部分固溶体属于这一类。

b. 无限固溶体。溶质能以任意比例溶入溶剂的固溶体就称为无限固溶体，事实上此时很难区分溶剂与溶质，二者可以互换，通常以质量分数大于 50% 的组元为溶剂，质量分数小于 50% 的组元为溶质。由此可见，无限固溶体只可能是置换固溶体。

③ 按溶质原子与溶剂原子的相对分布分类

a. 无序固溶体。

b. 有序固溶体。

除上述分类方法外，还有一些其他的分类方法，如以纯金属为基的固溶体称为一次固溶体或端际固溶体，以化合物为基的固溶体称为二次固溶体或中间相，等等。

(2) 置换固溶体

金属元素彼此之间一般都能形成置换固溶体，但固溶度的大小往往相差十分悬殊。大量实践表明，随着溶质原子的溶入，往往引起合金的性能发生显著的变化，因而研究影响固溶度的因素很有实际意义。很多学者都做了大量的研究工作，发现不同元素间的原子尺寸、电负性、电子浓度和晶体结构等因素对固溶度均有明显的规律性的影响。

原子尺寸、电负性、电子浓度、晶体结构因素是影响固溶体固溶度大小的四个主要因素。当以上四个因素都有利时，所形成的固溶体的固溶度可能较大，甚至形成无限固溶体。但上述的四个条件只是形成无限固溶体的必要条件，还不是充分条件，无限固溶体的形成规律仍有待于进一步研究。一般情况下，所有的金属在固态下均能溶解一些溶质原子。固溶体的固溶度除与以上因素有关外，还与温度有关。温度越高，固溶度越大。

(3) 间隙固溶体

一些原子半径很小的溶质原子溶入溶剂中时，不是占据溶剂晶格的正常结点位置，而是填入溶剂晶格的间隙中，形成间隙固溶体，其结构如图 1-8 所示。形成间隙固溶体的溶质元素，都是一些原子半径小于 0.1 nm 的非金属元素，如氢 (0.046 nm)、氧 (0.06 nm)、氮 (0.071 nm)、碳 (0.077 nm)、硼 (0.097 nm)，而溶剂元素则都是过渡元素。实践证明，只有当溶质与溶剂的原子半径比值 $r_{\text{溶质}}/r_{\text{溶剂}} < 0.59$ 时，才有可能形成间隙固溶体。

间隙固溶体的固溶度不仅与溶质原子的大小有关，而且与溶剂的晶格类型有关。晶格类型不同，则其中的间隙形状、大小也不同。如面心立方晶格的最大间隙是八面体间隙，所以溶质原子都位于八面体间隙中。体心立方晶格的致密度虽然比面心立方晶格的低，但因它的间隙数量多，每个间隙的直径都比面心立方晶格的小，所以它的固溶度要比面心立方晶格的小。

溶质原子(间隙原子)溶入溶剂后,将使溶剂的晶格常数增加,并使晶格发生畸变,溶入的溶质原子越多,引起的晶格畸变越大,当畸变量达到一定数值后,溶剂晶格将变得不稳定。当溶质原子较小时,引起的晶格畸变也较小,因此可以溶入更多的溶质原子,固溶度也较大。由于溶剂晶格中的间隙是有一定限度的,所以间隙固溶体只能是有限固溶体。

(4) 固溶体的结构

虽然固溶体仍保持着溶剂的晶格类型,但若与纯组元相比,结构还是发生了变化,有的变化还相当大,主要表现在以下几个方面。

① 晶格畸变。由于溶质与溶剂的原子大小不同,因而在形成固溶体时,必然在溶质原子附近的局部范围内造成晶格畸变,并因此而形成一弹性应力场。晶格畸变的大小可通过晶格常数的变化反映出来。对置换固溶体来说:当溶质原子较溶剂原子大时,晶格常数增加;反之,则晶格常数减小。实际固溶体只在浓度很低时,才符合这个关系,浓度高时,则与直线关系有正或负的偏差,如图1-9所示。形成间隙固溶体时,晶格常数总是随着溶质原子的溶入而增大,如图1-10所示。

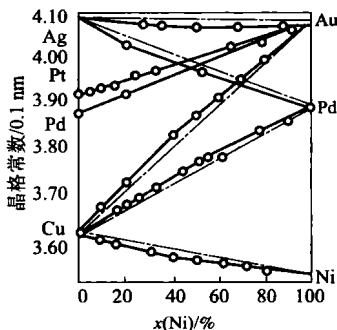


图 1-9 一些固溶体的晶格常数与成分的关系

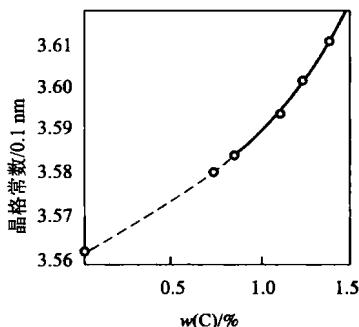


图 1-10 奥氏体的晶格常数与含质量分数的关系

② 偏聚与有序。长期以来,人们认为溶质原子在固溶体中的分布是统一的、均匀的、无序的,如图1-11(a)所示。但经X射线精细研究表明,溶质原子在固溶体中的分布,总是在一定程度上偏离完全无序状态,存在着分布的不均匀性。当同种原子间的结合力大于异种原子间的结合力时,溶质原子倾向于成群地聚集在一起,形成许多偏聚区(图1-11(b));反之,异种原子间的结合力较大时,则溶质原子的近邻皆为溶剂原子,即溶质原子倾向于按一定的规则有序分布,但通常只在短距离小范围内存在,称之为短程有序(图1-11(c))。

③ 有序固溶体。具有短程有序的固溶体,当低于某一温度时,可能使溶质和溶剂原子在整个晶体中都按一定的顺序排列起来,即由短程有序转变为长程有序,这样的固溶体称为有序固溶体。有序固溶体有确定的化学成分,可以用化学式来表示。当有序固溶体加热至某

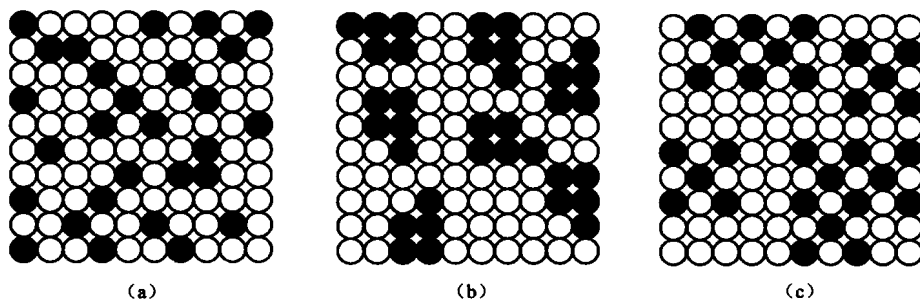


图 1-11 固溶体中溶质原子分布情况示意图
(a) 无序分布; (b) 偏聚分布; (c) 短程有序分布

一临界温度时, 将转变为无序固溶体, 而在缓慢冷却至这一温度时, 又可转变为有序固溶体。这一转变过程称之为有序化, 发生有序化的临界温度称为固溶体的有序化温度。

由于溶质和溶剂原子在晶格中占据着确定的位置, 因而发生有序化转变时会引起晶格类型的改变。严格说来, 有序固溶体实质上是介于固溶体和化合物之间的一种相, 但更接近于金属化合物。当无序固溶体转变为有序固溶体时, 性能发生突变, 即硬度和脆性显著增加, 而塑性和电阻则明显降低。

(5) 固溶体的性能

在固溶体中, 随着溶质浓度的增加, 固溶体的强度、硬度提高, 而塑性、韧性有所下降, 这种现象称为固溶强化。溶质原子与溶剂原子的尺寸差别越大, 所引起的晶格畸变也越大, 强化效果越好。由于间隙原子造成的晶格畸变比置换原子大得多, 所以其强化效果也大得多。固溶体的塑性和韧性, 如延伸率、断面收缩率和冲击功等, 虽比组成它的纯金属的平均值低, 但比一般的化合物高得多。因此, 各种金属材料总是以固溶体为其基体相。

在物理性能方面, 随着溶质原子浓度的增加, 固溶体的电阻率升高, 电阻温度系数下降。因此工业上应用的精密电阻和电热材料等, 都广泛采用固溶体合金。

★2. 金属化合物

除了固溶体外, 合金中另一类相是金属化合物。金属化合物是合金组元间发生相互作用而形成的一种新相, 又称为中间相, 其晶格类型和性能均不同于任一组元, 一般可以用分子式大致表示其组成。在该化合物中, 除了离子键、共价键外, 金属键也参与作用, 因而它具有一定的金属性质, 所以称之为金属化合物。

由于结合键和晶格类型的多样性, 使金属化合物具有许多特殊的物理化学性能, 其中已有不少正在开发应用, 作为新的功能材料和耐热材料, 对现代科学技术的进步起着重要的推动作用。例如, 具有半导体性能的金属化合物砷化镓 (GaAs), 其性能远远超过目前广泛应用的硅半导体材料, 目前正应用在发光二极管的制造上, 作为超高速电子计算机的元件已引