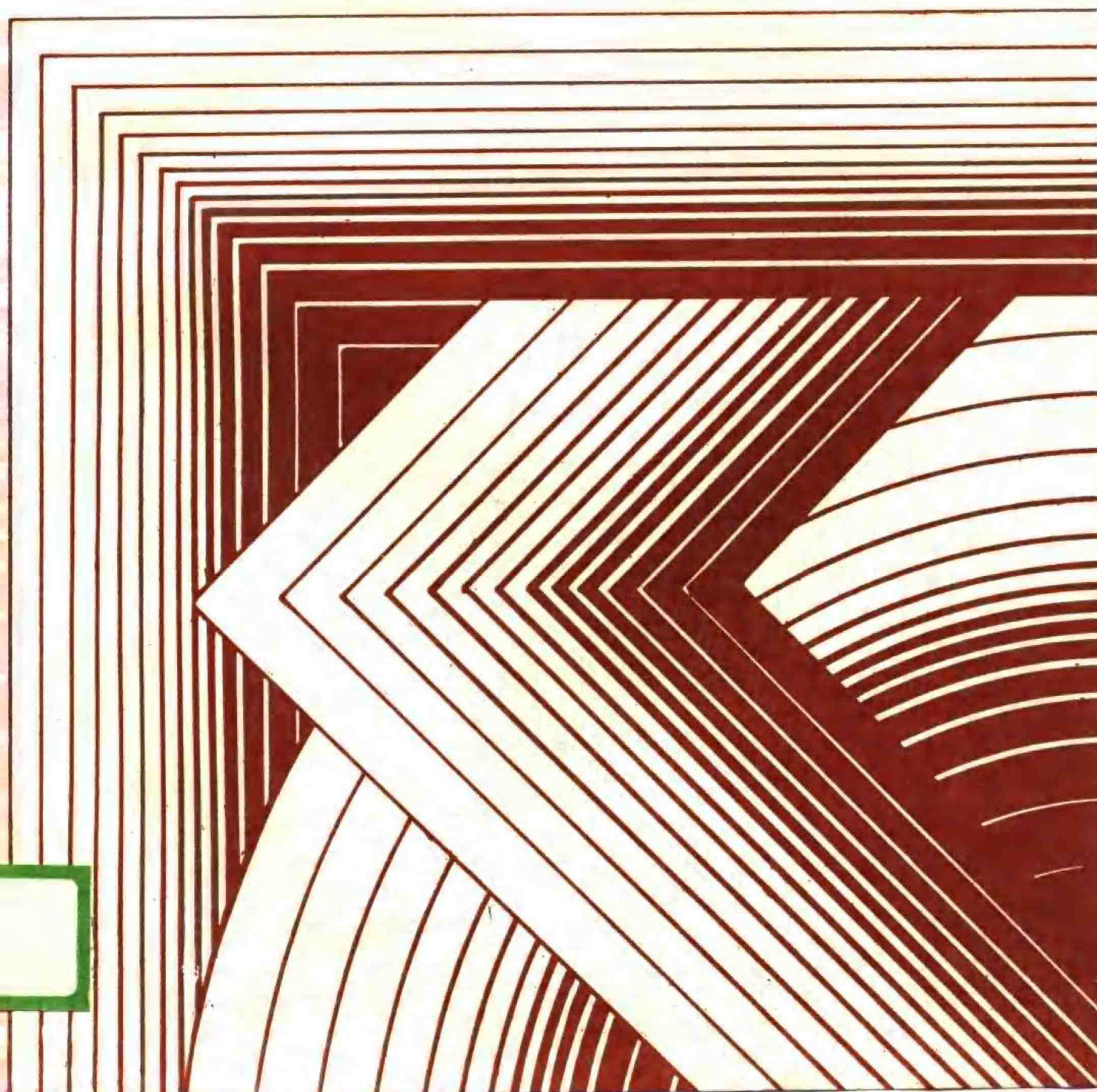


机械工程材料及工艺基础 上册

陈尚策 张命荣 魏广升 主编
重庆大学出版社



内 容 提 要

本书分上下两册出版。由成都大学、唐山大学等院校编写。

上册内容包括金属材料的基本理论，钢的热处理原理和工艺，合金钢及有色金属。还有高分子材料、陶瓷材料及复合材料的成型工艺等。对机械零部件的选材作了技术与经济上的全面评价。书中还附有金属材料的机械性能以及金属学的教学实验。

本书可作为普通高等工科院校机械类专业的教材，可供各类成人高校、职工大学机械类专业用书，也可供工程技术人员参考。

机械工程材料及工艺基础

(上 册)

陈尚策 张命荣 魏广昇 主编

责任编辑 宗联枝

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

重庆大学出版社印刷厂印刷

开本：787×1093 1/16 印张：20 字数：430千

1983年12月第1版 1983年12月第1次印刷

印数：1-1000

标准书号： ISBN 7-5624-0108-X 定价：3.57元
TG·4

前 言

《机械工程材料及工艺基础》是成都大学、青岛大学、唐山大学、杭州高等专科学校等院校联合编写，供高等工科院校机类专业的试用教材。

此书编写过程中，根据机类专业培养目标的要求和当代机械工程材料及工艺的现状及其发展趋势，结合教学和教改的实践，对现用《金属工艺学》和《金属材料及热处理》两门课程的内容、体系进行了认真的分析探讨。认为将这两门课合并成《机械工程材料及工艺基础》，改革课程体系，精选、更新内容，避免重复，扩大专业知识面是适宜的和必要的。按照这一指导思想和各部分内容在专业培养目标中的地位、作用及其相互联系来安排它们的先后次序，力求建立一个比较完善和合理的科学体系，以适应教学改革的要求。

本课程的教学应安排在金工教学实习后进行，课内教学110~120学时。在教学过程中，应充实教学实验，结合有关内容组织必要的教学参观和综合性练习。

本书分上、下册出版，上册1—13章为机械工程材料部分，下册14—18章为机械制造工艺部分。上、下册都附有相应的教学实验指导书。本书除供普通高等工科院校机类专业用书外，还可供各类成人高校机类、近机类专业教学之用。也可供工程技术人员参考。

参加本书编写的人员是：一、二章陈尚策（成都大学）、甄瑞甫（杭州高等专科学校）；三、四、七、九、十五章陈尚策；五、十四章魏广昇（青岛大学）；六、十、十一、十二、十三、十八章及附I张命荣（成都大学）；八章诸祥治（唐山大学）；十六章王孝达（成都大学）；十七章张继伦（成都大学）；附II魏广昇、张者五（青岛大学）。全书由陈尚策、张命荣、魏广昇三同志任主编。

重庆大学何泽福教授、吴桓文副教授任主审。

由于水平限制，书中难免有不妥之处，敬请各位读者批评指正。

编者

1987年10月

目 录

第一章 概论.....	(1)
第一节 《机械工程材料及工艺基础》的任务.....	(1)
第二节 机械工程材料的性能和结构.....	(2)
第三节 机械工程材料及工艺的分类和发展趋势.....	(7)
第二章 金属及合金的基本理论.....	(10)
第一节 金属的晶体结构.....	(10)
第二节 金属的结晶.....	(17)
第三节 固态合金相结构.....	(21)
第四节 二元合金相图的建立及分析.....	(27)
第五节 二元合金相图的基本类型.....	(29)
第六节 合金性能与相图的关系.....	(36)
第三章 铁碳合金.....	(39)
第一节 铁碳合金的相结构.....	(39)
第二节 铁碳合金相图.....	(41)
第三节 碳钢.....	(53)
第四节 铸铁.....	(58)
第四章 金属的塑性变形与再结晶.....	(72)
第一节 金属的塑性变形.....	(72)
第二节 冷塑性变形对金属组织和性能的影响.....	(76)
第三节 回复与再结晶.....	(79)
第四节 金属的热加工.....	(82)
第五章 钢的热处理.....	(84)
第一节 钢在加热时的转变.....	(84)
第二节 过冷奥氏体的冷却转变.....	(87)
第三节 钢的退火与正火.....	(94)
第四节 钢的淬火.....	(96)
第五节 钢的淬透性.....	(100)
第六节 钢的回火.....	(104)
第七节 钢的表面热处理.....	(108)
第八节 热处理的新工艺.....	(113)
第九节 钢热处理的缺陷及质量控制.....	(116)
第六章 金属的断裂、磨损和腐蚀.....	(120)
第一节 金属的断裂.....	(120)
第二节 金属的磨损.....	(129)
第三节 金属的腐蚀与防护.....	(135)

第七章 合金钢	(141)
第一节 合金钢概论.....	(141)
第二节 合金结构钢.....	(147)
第三节 合金工具钢.....	(161)
第四节 特殊性能钢.....	(169)
第八章 有色金属及粉末合金	(175)
第一节 铝及铝合金.....	(175)
第二节 铜及铜合金.....	(182)
第三节 钛及钛合金.....	(188)
第四节 滑动轴承合金.....	(191)
第五节 粉末合金.....	(194)
第九章 金属材料生产	(199)
第一节 钢铁材料生产.....	(199)
第二节 有色冶金简介.....	(206)
第三节 粉末冶金.....	(213)
第十章 高分子材料及其成型加工	(219)
第一节 高分子材料的基本知识.....	(219)
第二节 高聚物的基本特征.....	(227)
第三节 塑料及其制品的成型加工.....	(231)
第四节 橡胶及其成型工艺.....	(239)
第十一章 陶瓷材料及其生产工艺	(243)
第一节 陶瓷的生产工艺.....	(243)
第二节 陶瓷的组织结构和性能.....	(247)
第三节 常用陶瓷材料.....	(252)
第十二章 复合材料及其成型加工	(257)
第一节 复合材料的基本知识.....	(257)
第二节 常用复合材料.....	(261)
第三节 复合材料的成型工艺.....	(265)
第十三章 零件选材	(269)
第一节 选材的原则和程序.....	(269)
第二节 零件失效与选材.....	(273)
第三节 选材方案的评价.....	(282)
附录 I 金属材料的机械性能	(287)
附录 II 金属材料及热处理教学实验	(294)

第一章 概 论

第一节 《机械工程材料及工艺基础》的任务

一、材料工艺与人类文明

物质生产活动是人类生存和社会发展的基础，生产工具又是人类从事物质生产的主要手段。因此，用于制造生产工具的各种材料及对其进行加工的工艺方法，便成了人类社会发展和文明进程的重要标志。在人类历史发展中，有以使用材料的类别不同，将其划分为石器时代、铜器时代和铁器时代。当代人类社会正向合成材料的新时代前进。

当前人类社会正面临新的技术革命，各种新技术的出现都与材料及其加工工艺的进步密切相关。因此，发达国家都把材料科学作为重点发展学科之一，使之成为新技术革命提供坚实的物质基础。

材料及其加工工艺的进步是人类开发利用自然资源的重要成果，它在自然界和人类生产、生活中的循环过程如图 1-1 所示。参加这一循环过程的物料流量，随着人类开发利用自然资源能力的提高而不断增大。

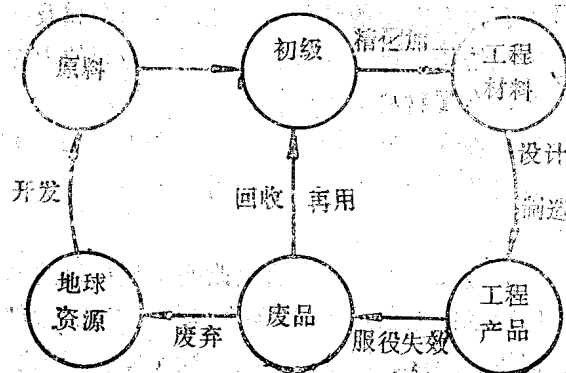


图 1-1 材料在自然界循环过程示意图

我国是世界文明古国之一，在材料工艺方面曾为人类文明作出过卓越贡献。六千多年前，我们祖先就创造了以制陶术为代表的仰韶文化，随之发展起来的陶瓷技术一直在世界处于领先地位；以商周的青铜冶炼加工技术为代表的青铜文化成为世界古代奴隶社会文明的重要标志之一；春秋战国时期发明的熔铁术和西汉时期热处理强化工艺都曾在世界上名列前茅。我国古代在材料、工艺方面的成就，不仅对我国古代社会发展起过重要作用，对近代材料工艺的进程也有着重大的影响。

在近代史上由于腐朽封建制度对科学技术的束缚，致使我国材料工艺技术长期停滞不前，并一度落后于世界先进水平。然而新中国成立后，由于党和国家的重视，我国材料科学及其加工工艺得到了迅速的发展。如大型电算机问世，运载火箭发射和通讯卫星上天，大型发电机组的制造，大跨度钢桥的建设等，都标志着我国材料工艺的巨大进步，在某些方面已接近和赶上世界先进水平。

二、课程的任务

社会化的机器大生产是现代工业的基本特征，制造各种高效机器设备，为国民经济各部门提供现代化的劳动手段是机械工业生产的基本任务。机械工程材料是机械工业的粮食，而将材料加工成各种零部件并装配成机器的工艺方法，则是从事机器制造的基本途径。因此，

机械工程材料及加工工艺是机器制造业的物质和技术基础。作为一个机械工程师,掌握机械工程材料及加工工艺方面的基本知识,是正确进行机械设计,零件选材,拟定工艺路线,编制各项工艺文件的必备条件。

本课程将过去《金属材料及热处理》和《金属工艺学》两门课程的体系内容进行了较大的调整、改革、充实和更新,合并成为《机械工程材料及工艺基础》,以确保课程内容、学科体系的系统性和有关教学环节内在的联系。

机械工程材料和工艺方法种类繁多,而且各种新材料和新工艺不断出现。由于篇幅的限制,本课程仅介绍在机械工程上应用最广泛最具有代表性或发展前景的材料及工艺方法。本书的主要内容包括以下几个方面:

1. 工程材料的基础知识 工程材料的性能决定于材料的组织结构。而材料的组织结构又决定于其化学成分和加工的工艺历程。这一关系不仅是贯穿全书的中心线索,也是机械工程上正确选用材料和拟定加工工艺路线的基本指导思想。在机械工程材料及工艺中,金属材料及工艺占有突出的地位。因此,学习金属及合金的基本理论,并在此基础上了解材料的性能、组织结构、化学成分和加工工艺之间的内在联系,是学习本课程的必备基础。

2. 金属材料 当前机械工程上用量最大,最重要的工程材料仍是金属材料,尤其是钢铁材料。在这一部分中,主要介绍常用金属材料的分类、编号、化学组成、组织性能的特征、应用及其生产方法;金属材料热处理原理和工艺;金属的断裂、磨损、腐蚀及其防护的基本知识。

3. 金属加工工艺 直接改变金属材料的形状、尺寸和性能,使之满足机械零件设计技术条件要求的工艺过程,称为金属加工工艺。这部分主要介绍常用的金属成型加工方法——铸造、锻压、焊接、切削加工的一般原理、工艺装备、工艺特征和适用范围,为拟定工艺路线和工艺文件提供必要的基础知识。

4. 非金属材料及其工艺 除金属材料以外的所有材料,统称为非金属材料。在机械工程上应用某些非金属材料代替部分传统的金属材料,是一个重要的发展趋势。这部分主要介绍目前或将来一段时间内,在机械工程上有较大适用价值或发展前景的非金属材料,如工程塑料、橡胶、陶瓷以及复合材料等的结构、性能特征、应用范围和成型工艺,为非金属材料在机械工程上的应用提供一些初步知识。

5. 机械零件选材及工艺路线 在学习各种工程材料和工艺方法的基础上,介绍零件选材和拟定加工工艺路线的一般原则、程序和方法;对零件选材和工艺方案进行综合评价的初步知识。使读者从总体上对机械工程材料的选用、加工工艺的制定有一个全面的概略了解,为进一步学习有关专业课程和日后的工作提供必要的基础知识。这是本课程重要的教学目的。

此外,为了适应机械工程材料及工艺发展现状和趋势的需要,在有关部分还介绍了一些新材料和新工艺。

第二节 机械工程材料的性能和结构

一、机械工程材料的基本性能

制造机器零部件的材料必须具备一定的性能,才能适应机械制造工艺,确保机器服役时具

有一定使用性能等要求。机械工程材料的基本性能有以下几个方面：

1. 机械性能 材料在外力作用下所表现出的行为称为机械性能，又叫力学性能。任何机器零部件，在加工制造和使用运转过程中，都要承受一定载荷，即外力的作用。因而机械性能便成了机械工程材料最主要的性能。材料的机械性能指标有刚度、强度、硬度、韧性、塑性、疲劳强度等。这些性能指标是衡量材料承受各种不同性质载荷能力和塑性变形能力的重要尺度，也是机械设计、制造的重要依据。机械零件在使用过程中，能否抵抗外力的作用，不发生过量变形、磨损和断裂失效，保持其形状、尺寸和运转精度、效率的稳定性，主要决定于零件材料的机械性能。

2. 物理、化学性能 材料的物理、化学性能是多方面的：如密度、电磁性能、耐热性能、耐蚀性、耐磨性等。这类性能对于零件在特殊环境下工作，或要求零件具有某些特殊功能有重要作用。如在腐蚀性介质中工作的机器零件，应具有耐蚀性；在高温条件下工作的零件应具有耐热性。

3. 工艺性能 材料适应成型加工工艺的能力称为材料的工艺性能。材料的工艺性能，反映了对材料进行成型加工的难易程度，对于产品质量、成型、加工生产率和工艺成本影响很大。不同的成型、加工方法，对材料的工艺性能有不同的要求。如浇注成型，就必须要材料在熔化后具有良好的充型能力，浇注后固化成型性好，收缩、偏析倾向小；塑性成型件，要求材料具有良好的可塑性和小的变形抗力；凡是要进行切削加工的零件，材料必须要具有一定的可切削性；要进行焊接、粘接、烧结等成型加工的，也应具有相应的工艺性能。

在上述关系中，化学组成和加工工艺是决定材料组织结构和性能的内 在因素和外部条件，而组织结构则是联系材料性能，化学组成和加工工艺的核心。

二、工程材料的组织结构

材料的组织是指用肉眼或借助于显微镜等仪器可观察到的材料内部的组成形貌，如各组成部分的相对数量、大小、形态和分布等。材料的结构是指各组成部分质点（原子、分子、离子）之间的结合方式及其在空间排列分布的规律，即所谓结合键和晶体结构的类型。

（一）晶体和非晶体 按固态物质的组成质点在空间分布情况，可分为晶体和非晶体两大类。

非晶体是指组成质点在空间无规则地散乱堆积的固态物质，又称为无定型体。如石蜡、松香、玻璃，大多数高分子有机化合物都属于此类。这类物质一般没有规则外形，无固定的熔点（只有一个熔化温度范围），具有各向同性等特征。

组成质点在空间按一定规则周期、重复排列的固态物质称为晶体，如图 1-2(a)所示。

为了便于研究，常把晶体的组成质点抽象为一点，称为结点或阵点，它代表了晶体中组成质点热运动振动的中心位置。各结点间用假想的直线段连接起来的空间格架，称为晶格（见图 1-2(b)）。组成晶格的最小几何单元称为晶胞，如图 1-2(c)所示。晶胞三个棱边的长度 a 、 b 、 c 称为晶格常数或阵点常数。各棱边的夹角 α 、 β 、 γ 称为晶格夹角。按照这六个参数和晶格结点（阵点）在空间的分布情况，可以把晶体分为七大晶系和十四种空间阵点，如表 1-1 所示。

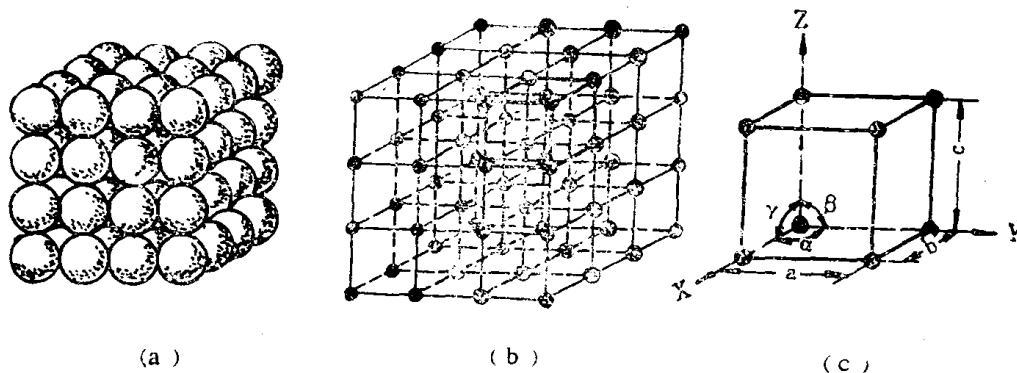


图 1-2 简单立方晶体:

(a)堆积模式

(b)空间格子

(c)单胞示意图

表1-1 七种晶系及其空间点阵

序号	晶系	晶格常数	晶棱夹角	晶格点阵	晶胞原子数
1	三斜晶系	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma$	简单三斜	1
2	单斜晶系	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	简单单斜	1
				底心单斜	2
3	六方晶系	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma = 120^\circ$	简单六方	1
4	三角(菱方)晶系	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	简单三角(菱方)	1
5	正交晶系	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	简单正交	1
				体心正交	2
				底心正交	2
				面心正交	4
6	正方(四方)晶系	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	简单四方	1
				体心四方	2
7	立方晶系	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	简单立方	1
				体心立方	2
				面心立方	4

由于任何晶体都是原子(或离子)在三维空间周期重复堆积而成,晶胞的几何结构特征,如晶格常数、晶棱夹角,晶胞及其各晶向、晶面上组成质点的排列分布情况,是晶体学的重要参数。因而常把晶胞作为研究晶体结构的基本对象。

由于晶体中质点呈规则有序排列,使其具有规则的外形、固定的熔点、各向异性等非晶体物质所不具有的特性。大多数机械工程材料,如金属及其合金、陶瓷、部份工程塑料等都具有晶体结构,属于晶态物质。

物质呈晶态或非晶态主要决定于其本性,还与其由液态向固态转变的条件(如冷却速

度)有关。在通常条件下,组成质点越简单,冷却速度小,由液态向固态转变时的结晶倾向增强。反之,组成质点难以按一定规则周期重复排列而呈现非晶态的无定形固体。如金属一般呈晶体,但当采用极大的速度冷却金属液,就有可能得到非晶态金属,即玻璃金属。高分子材料,由于其分子量很大,活动困难,大多属于非晶态。但结构比较简单、分子量较小的高分子化合物,如果用极缓慢的冷却速度冷却其熔融液体,便可以得到部份结晶的高分子材料。

材料呈晶态或非晶态以及晶体结构的类型,不仅反映了其组成质点的排列情况,而且反映了这些质点之间相互作用力场的分布和大小,对材料的性能有直接影响。

(二)结合键 固态物质的结合键是指组成质点之间的结合方式,即这些质点是靠什么力结合在一起的。从本质上看,结合键对物质的性能具有决定性的影响。按结合键的性质,物质中的结合键可以分为化学键和物理键两大类。

1. 化学键 物质最基本的结构单元是原子,当组成物质的原子相互靠近时,其外围电子重新分布(出现电子得失、公有化或形成共用电子对),在原子之间产生了静电力作用,从而把同类或异类原子结合在一起,这就是化学键。

由于组成物质的原子结构及核外电子分布的不同,会出现不同类型的化学键。

(1)离子键和离子晶体:周期表中电离能很小的金属原子和电子亲和能很大的非金属原子相互接近时,前者失去最外层电子而形成带正电荷的阳离子,后者获得电子而形成带负电荷的阴离子。由正、负离子间的静电作用而形成的化学键称为离子键。由离子键结合的晶体称为离子晶体。许多金属氧化物、金属氯化物,如 Al_2O_3 、 MgO 、 NaCl 等均属于晶体。图1-3是 MgO 离子晶体示意图。

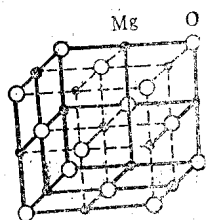


图1-3 MgO 离子晶体示意图

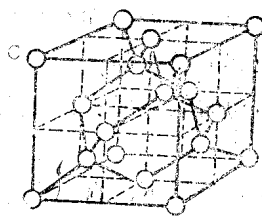


图1-4 金刚石晶体

离子键没有方向性和饱和性,所以离子键可以形成巨大的离子晶体。在离子晶体中不存在单个化合物分子,如食盐晶体中并不存在单独的氯化钠分子。化学式 NaCl 只代表氯化钠晶体中 Na^+ 和 Cl^- 离子的数比和重量组成,并不代表分子。

离子键结合力大,所以离子晶体比较稳定,熔点高、强度大、性质硬而脆。离子晶体中无自由电子运动,也不吸收可见光,所以离子晶体往往是良好的绝缘体和透明体。

(2)共价键及原子晶体:两个相同的原子,或处在周期表中间位置,具有3、4、5价电子的元素,如氮、碳、硼、硅等,它们的电负性相差不大,原子得失电子的能力相近。当这些原子相互接近时,没有电子的得失和转移,而是形成共用电子对,使各原子的外层电子达到稳定的满壳层,共用电子对围绕两个原子运动,并将它们结合在一起从而形成了共价键。由共价键结合成的晶体称为共价晶体或原子晶体。

金刚石是典型的共价键原子晶体(图1-4)。每个碳原子贡献4个价电子与周围的四

个碳原子分别形成 4 个共用电子对，组成正四面体的晶体结构。一个碳原子处于另外 4 个碳原子组成的正四面体的中心。 SiC 、 BN 、 Si_3N_4 等化合物和硅、锗、锡等纯物质都属于共价键晶体。

共价键具有明显的饱和性和方向性，键的结合力大，结构稳定，因而共价键结合的原子晶体熔点高、强度大。硬度大与离子键相似，其外层电子均用于结合键，因而也是绝缘体。

在共价键晶体中，共价键的数目越多，则结合越牢固，其熔点、硬度、强度越高，如金刚石。

(3) 金属键和金属晶体：金属原子一般只有 1 ~ 3 个电离能很小的外层价电子。当金属原子互相靠近时，易失去外层价电子而变成金属正离子。从原子上脱离出来的电子则成为公有化的自由电子。这些公有的自由

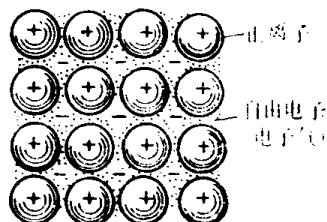


图 1-5 金属键示意图

电子可以在整个金属内运动，形成电子云，金属正离子则沉浸在电子云中。依靠金属正离子与自由电子之间强烈的静电作用将金属原子结合在一起，这就形成了金属键，如图 1-5 所示。由金属键结合的晶体叫金属晶体。

金属键这种结构特征，使其对金属原子的结合不存在方向性、选择性和饱和性。因此，金属晶体较其它键结合的晶体具有一系列的特性，即所谓金属性。

1) 优良的导电性和导热性，而且其电阻、热阻的温度系数为正值。金属晶体中存在着可以移动的公有化自由电子，在外电场的作用下，这些自由电子作定向运动而形成电流，从而显现出优良的导电性能。在金属导热时，不仅靠金属正离子的热振动导热，而且自由电子也参加传热，使其成为热的良导体。随着温度升高，晶格结点上金属正离子热运动加剧，使自由电子定向运动的阻力增大，其导电、导热的能力减小，即电阻、热阻的温度系数为正值。

此外，在低温条件下，自由电子之间可以结合成由两个电子组成并相反自旋的电子对，结点上金属正离子对电子运动的阻碍甚微，不易发生散射，而使金属产生超电导现象成为超导体。金属的超导性在现代科技上具有十分重要的意义。

2) 金属具有金属光泽、良好的可塑性。

金属中自由电子能为可见光激发跃到较高能级，当它跃迁回原有较低能级时，能把吸收的光能以一定频率的电磁波辐射出来，从而形成金属光泽。

由于金属晶体中原子是靠自由电子结合在一起的，当受外力作用发生变形时，自由电子可随其相对移动，而不会发生结合对象上的选择使金属键遭受破坏。因而金属晶体具有良好的可塑性。

3) 金属晶体一般呈紧密排列。以金属键结合的金属晶体，因不存在方向性、饱和性和选择性，金属原子总是按最紧密或次紧密堆积排列在一起，具有较大的原子密度。关于这方面的知识将在下一章中专门介绍。

总之，金属晶体的许多特性都与其原子之间的金属键结合方式有关。

2. 物理键 与化学键形成时原子外围电子分布状态的改变不同，形成物理键时，原子

的价电子分布几乎没有发生变化。这种结合键不存在强烈的静电力的作用，是中性原子或分子之间的结合。按物理键结合的特征，可以分为以下两种：

(1) 分子键：某些化合物中性分子彼此接近时，出现正负电荷中心不重合而产生极化作用，也会在这些分子间形成作用力，即范德华力。物质分子之间以范德华力相结合，称为分子键。大多数高分子有机化合物及在低温下的 CO_2 、 SO_2 、 HCl 、 N_2 、 H_2 等分子之间是靠分子键结合在一起的。

分子键结合的物质可能是晶体、也可能是无定型的非晶体。由于分子键的结合力很弱，其固态晶体或非晶体材料的强度、硬度、熔点较低。

(2) 氢键：在一定条件下，一个氢原子同时和两个负电性较大而半径又较小的原子结合时，若系共价结合，因氢原子半径很小，又无内层电子，在较大电偶极矩作用下，分子中的电子被强烈地引向远离氢原子的一端，氢原子核被“裸露”出来，并产生对带负电的另一原子静电吸引作用，从而形成氢键结合。如 $\text{F}-\text{H}\cdots\cdots\text{F}$ ， $\text{O}-\text{H}\cdots\cdots\text{O}$ ， $\text{N}-\text{H}\cdots\cdots\text{O}$ 等。这些结合式中，实线为共价键，点线即为氢键。在含氢的化合物中，尤其含氢的高价化合物中普遍存在氢键。由氢键结合起来的晶体为氢键晶体，如冰即属于这类晶体。

氢键的键能比化学键小得多，可以认为是一种具有饱和性和方向性的范德华键。它对物质的许多物理化学性能都有重要的影响。

综上所述，固态物质中原子（或离子、分子）之间主要存在四种类型的结合键，即离子键、共价键、金属键和分子键。但大多数工程材料并不是单纯一种结合键，往往存在着几种键组成的混合键。如果以四种典型键为顶点作成正四面体，如图 1-6。则实际晶体的结合键将位于四面体的体内、面上或棱上，根据其在四面体中的位置，可以大致估计各种材料结合键的类型及其基本特征。

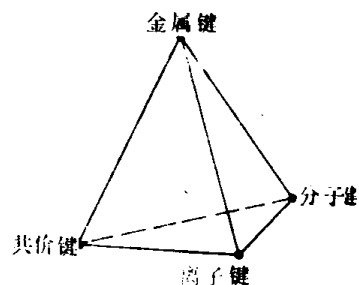


图 1-6 结合键四面体

第三节 机械工程材料及工艺的分类和发展趋势

一、机械工程材料及工艺的分类

(一) 机械工程材料的分类 机械工程材料分类方法很多，通常按组成和性能分为金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类。

1. 金属材料 金属材料是当今最重要的工程材料。凡是主要由金属键结合，具有金属特性的一类材料，如各种金属及其合金统称为金属材料，工业上将金属材料分为黑色金属及有色金属两大类。

(1) 黑色金属：铁和以铁为基的合金，如纯铁、碳钢、合金钢、铸铁、铁合金、铁基粉末合金等均属黑色金属，简称钢铁材料。钢铁材料的机械性能优越，生产量大，价格低廉，是目前应用最广泛的机械工程结构材料，约占金属材料消耗量的90%左右。

(2) 有色金属材料：除铁以外的金属及其合金统称为有色金属。有色金属品种繁多、性能各异，用途广泛。但产量少、价格贵，广泛使用还受到一定限制。常用的有色金属材料有铝及铝合金、铜及铜合金、钛及钛合金、轴承合金等。

2. 非金属材料 金属材料以外的所有材料统称为非金属材料。其种类很多、机械工上应用价值较大而又有发展前景的非金属材料有陶瓷、高分子材料和复合材料三大类。

(1) 陶瓷材料: 陶瓷是用各种金属的氧化物、氮化物、碳化物、硅化物为原料, 经适当配料、成型和高温烧结制得的一类无机非金属材料。这类材料一般是由共价键、离子键、或混合键结合而成。陶瓷材料的结构稳定、熔点高、硬度大、耐蚀、耐腐蚀性优良, 但脆性大。在机械工程上陶瓷主要用于制造高速切削刀具, 耐磨、耐蚀和耐热的零件或元器件。

(2) 有机高分子材料: 这类材料由许多分子量特别大的有机高分子化合物组成。它是由含碳氢元素的低分子有机化合物在一定条件下聚合而成, 因而又称高聚物。高聚物的大分子内部原子之间靠共价键结合, 而大分子之间主要是物理键结合。

有机高分子材料比重轻、电绝缘性、耐蚀性好。但其强度、硬度低, 耐热性差。塑料、橡胶、合成纤维是目前发展很快、应用较广的几种有机高分子合成材料。

3. 复合材料 两种以上不同化学结构和性能的材料经人工复合而成的一类材料称为复合材料。复合材料中的结合键主要决定于组分的结合键及其相互作用。复合材料集中了其组成材料性能的优点。减轻或避免了其弱点。所以, 复合材料的强度、刚度、耐蚀性等性能都比单纯的金属、陶瓷或聚合物好, 是具有广阔发展前途的一类工程材料。

(二) 机械制造工艺方法分类 直接改变机械工程材料形状、尺寸、性能, 使其达到一定技术条件要求的机械零件的工艺过程, 需经历一系列工艺方法才能完成。按各种工艺方法在机械制造中的作用和任务, 可以分为以下几类:

1. 成型加工 将一定尺寸和重量的材料, 在一定条件下变成与零件形状和尺寸相近似的坯件, 为后续加工做好准备的一类工艺方法, 如浇注、压力加工、焊接(粘接)、烧结等均属于此列。成型加工既可改变坯料的形状和尺寸, 又可改变其组织和性能。

2. 表面加工 表面加工又称为机加工或切削加工。它是借助于机床和切削刀具切除坯件表面上多余的部分, 使其达到规定的尺寸精度和表面粗糙度的一类工艺方法。常用的表面加工方法有车削、铣削、刨削、镗削、磨削和特种加工等。切削加工是确保零件装配精度和机器运转精度的基本方法, 在当前机械制造中占有突出的地位。

3. 热处理 为了改善材料和零部件的组织结构和性能, 更好地适应加工工艺和使用性能的要求, 用适当加热, 而后又适当冷却的方法, 使材料或零件的组织结构和性能按要求进行转变的一类工艺, 称为热处理。热处理是改善材料加工工艺性能、改善材料和零件的组织结构和提高机械性能, 延长使用寿命的基本途径。

4. 表面防护处理 为了对零件表面进行防护、装饰, 适应特殊环境下正常工作并具有一定的装饰性, 往往还要对已加工好的零件进行表面防护处理、如表面电镀、涂护处理等。

二、机械工程材料及工艺的发展趋势

当代新技术革命的进展对于机械产品及其使用材料和制造工艺的要求越来越高, 而材料科学及其工程的进步, 又推动着机械工程材料及其成型加工迅速的发展和更新。

1. 材料的开发利用 在材料的开发利用方面, 提高结构材料的强度和韧性, 是提高工程产品承载能力和使用寿命、减小结构尺寸和重量、节约材料和能耗的重要措施。近年来美、日等国使用高强度和高韧性材料使汽车的自重减轻30%左右, 耗油量大幅度下降。结构材料强韧化的主要途径是: 制备细晶、超细晶或非晶态金属材料; 对陶瓷材料进行强韧化处

理；对高分子材料进行增强处理；研制强韧化的复合材料。

在扩大材料的品种方面：非金属材料，尤其是合成高分子材料、陶瓷材料的发展很快；以合成材料代替天然材料，复合材料代替单一材料，扩大有色金属材料尤其是钛合金和合金钢的应用范围，研制新型功能材料等是材料科学的发展趋势；研制特殊条件下具有特异功能的功能材料，如形状记忆合金、信息贮存、传输和转换材料，贮能换能材料，超导性、超塑性、超硬度的材料，以及用于超高温、超低温和超高压的材料，都是当前新材料开发的重要课题。

2. 材料的加工工艺 把机械工程材料变成机械产品的工艺方法和过程，在很大程度上决定了材料开发应用的实际价值。例如没有热处理等强化工艺配合，高性能的优质合金钢的应用范围和价值就要受到很大的限制；没有合适的坯件成型工艺，许多重要、复杂的机器零件就无法生产出来，即使能够生产出来，或因其质量低劣，或因其费工费料，产品的技术经济效益也无法达到预定的要求；没有高效精细的表面加工，机器零件就无法进行装配或者达不到规定的装配和运转精度。因此，现代机械工程材料加工工艺的发展，总是要适应材料品种结构的变化，不断提高加工效率和质量，缩短加工周期，降低材料消耗，从而最大限度的降低工艺成本，提高经济效益。因此，机械制造工艺上出现了以下一些明显的发展趋势。

(1) 大力发展高效、无切削或少切削的成型工艺：传统的机械制造工艺是以切削加工为中心来安排的。实践表明，这种生产方式，不仅经历的工序多，周期长，生产率低，而且材料消耗大，占用的机械设备多。因而改进成型工艺，提高成型坯件的质量，实现无切削和少切削加工，已成为各国机械行业普遍关注的问题。在这方面，精密铸造、塑性成型，粉末热压烧结成型等工艺发展十分迅速。

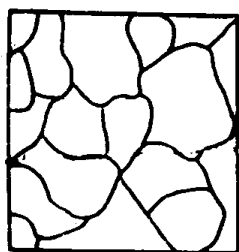
(2) 机电一体化：微电子技术和计算机广泛应用于机械制造工艺过程。各种自动机床，数控机床和自动化流水作业线的出现，对于简化工艺操作，提高产品质量和生产效率起到了巨大的推动作用，使机械加工工艺的面貌为之一新。

(3) 表面强化和防护处理工艺迅速发展：实践表明，机器及其零部件失效损坏的主要原因是表面损伤。因而，对零件表面进行强化和防护处理，已成为提高零件使用寿命的重要途径。目前，除传统的表面强化防护处理工艺外，多元共渗、表面喷涂、表面复合强化、高能离子注入等新工艺已经引起广泛的注意，并获得了许多实质性的进展。

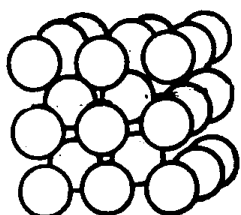
第二章 金属及合金的基本理论

第一节 金属的晶体结构

在一般条件下，固态金属是晶体。图 2-1 是纯铁的显微组织和晶体结构示意图。纯铁的显微组织是由许多大小不一、排列方位不同的小晶体，即晶粒组成。晶粒的直径一般约为 $10^{-1} \sim 10^{-3} \text{mm}$ ，晶粒内部的金属原子按一定规则排列。



(a)



(b)

图 2-1 纯铁组织和晶体模型图
(a)—显微组织 (b)—晶体模型

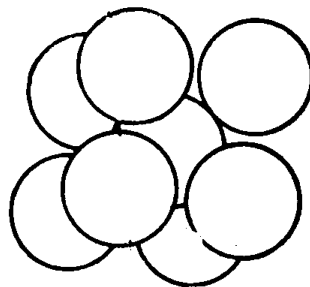
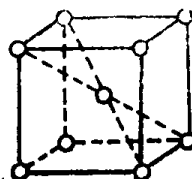


图 2-2 体心立方晶胞

一、常见金属的晶体结构

金属晶体属于金属键结合，通常呈紧密排列或次紧密排列。因而大多数金属晶体具有体心立方、面心立方或密排六方结构。

1. 体心立方晶格 如图 2-2 所示，体心立方晶格的晶胞中，立方体的顶角和中心各有一个原子，其晶格常数 $a = b = c$ ，晶棱夹角 $\alpha = \gamma = \beta = 90^\circ$ 。各顶角上的原子为相邻 8 个晶胞所共有，而体心原子为一个晶胞所独占。因此，每个体心立方晶胞具有的原子数为 $1/8 \times 8 + 1 = 2$ (个)

属于体心立方晶格的金属有： α -Fe、Cr、W、Mo、V 等。

2. 面心立方晶体 图 2-3 是面心立方晶体晶胞示意图。除每个顶角上有一个原子外，立方体 6 个面中心还有一个面心原子，它属两个相邻晶胞所共有。每个面心立方晶胞

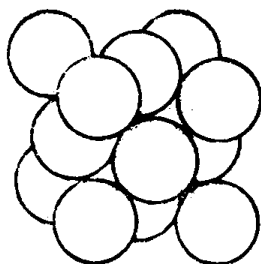
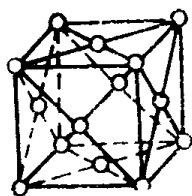


图 2-3 面心立方晶胞

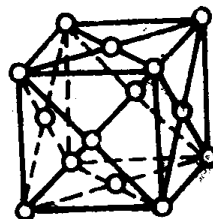
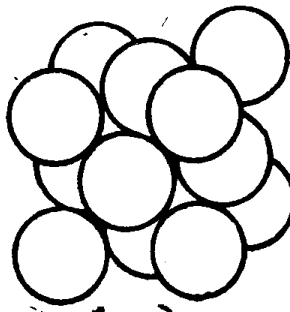


图 2-4 密排六方晶胞

实际包含的原子数为：

$$1/2 \times 6 + 1/8 \times 8 = 4 \text{ (个)}$$

属于面心立方晶格的金属有： γ -Fe、Mn、Ni、Al、Cu、Au、Ag等。

3. 密排立方晶格 如图 2-4 所示，密排六方晶格的晶胞为一正六方柱体，在上下底面中心和 12 个顶角上各有一个原子，在晶胞中心还有 3 个原子。顶角原子为相邻 6 个晶胞共有，上下底面的面心原子为相邻两个晶胞共有，3 个中间原子为一个晶胞所独占。因此，每个晶胞的原子数为：

$$12 \times 1/6 + 2 \times 1/2 + 3 = 6 (\text{个})$$

在密排六方晶胞中，有两个晶格常数 a 和 c ，分别表示晶胞底面的原子间距和晶胞的高度。 c/a 称的晶轴比，其值约为： $\sqrt{\frac{8}{3}} \approx 1.633$ 。晶棱间的夹角 $\alpha = \beta = 90^\circ$ ， $\gamma = 120^\circ$ 。

属于密排六方晶格的常见金属有：Mg、Zn、Be、Cd 等。

除以上三种常见晶格外，还有少数金属具有其它型式的晶体结构。

二、金属晶体中原子排列的致密度

晶体中原子排列的紧密程度，是晶体结构的重要特征，常用配位数和晶格致密度两个参数来表示。

1. 配位数 晶格中与某一原子相邻并且等距的原子数目称为配位数。图 2-5 是三种常见金属晶体配位数的示意图。

从图可见，在体心立方晶格中与体心原子相邻并且距离相等的原子是 8 个顶角原子，因而其配位数为 8。面心立方晶格中，与任意一个面心原子相邻，并且距离相等的原子有它所在面上的 4 个顶角原子以及通过这个面心原子，并和这个面互相垂直的另外 8 个面上的面心原子，因而其配位数为 $4 \times 3 = 12$ 。

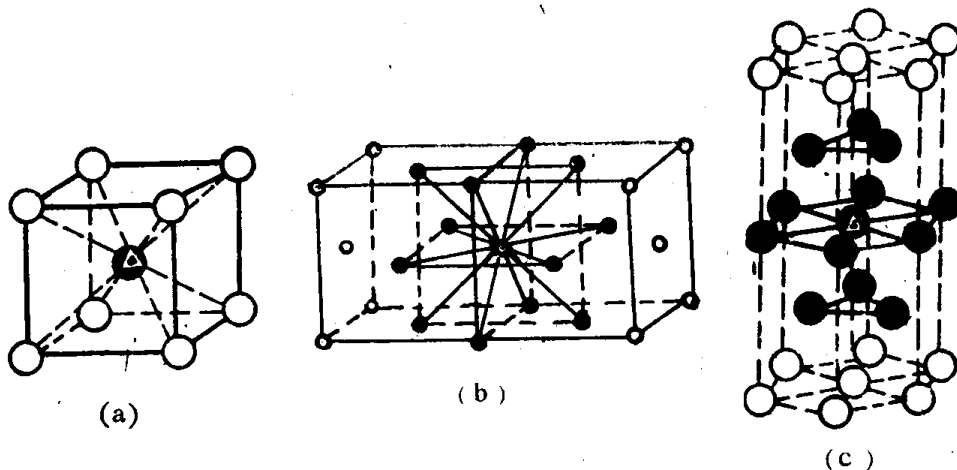


图 2-5 常见三种晶格配位数的示意图

(a) 体心立方；(b) 面心立方；(c) 密排六方

对于密排六方晶格，若取底面中心原子来分析，便可发现，与其相邻并等距的原子是其 6 个顶角原子和相邻两柱体内各有 3 个原子。因此其配位数为 12。

显然，配位数越大，晶体中原子排列愈紧密。反之，则越疏松。

2. 晶格致密度 配位数能够定性的反映晶体中原子排列的紧密程度。但是，如果将金属晶体中的原子视为大小相同的刚性小球体，而且是一个紧挨着一个地排列着，那么，原子之间仍然会出现空隙。晶体中未被原子充满的空隙值的大小，对于晶体中原子之间的作用力

场，异类原子的溶入、析出和晶体的性能等都有直接的影响。

晶格致密度是指晶胞中金属原子实际占有的体积与晶胞总体积之比。即：

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

式中 K ——晶体结构的致密度； n ——一个晶胞实际包含的原子数；

v ——一个原子(刚球)的体积，其值为 $\frac{4}{3}\pi r^3$ (r 为该原子半径)； V ——晶胞的体积

体心立方晶格晶胞的空间对角线方向上，原子是互相接触排列的，相邻原子的中心距恰好等于原子直径。由图 2 - 6 可见，空间对角线的长度 $\sqrt{3} a$ 等于 4 个原子半径。所以，体心立方晶胞中的原子半径 r 与晶格常数 a 的关系为 $r = \frac{\sqrt{3}}{4} a$ ，晶胞体积为 a^3 ，每个晶胞中含有 2 个原子。故体心立方晶格的致密度 $K_{\text{体}}$ 应为：

$$K_{\text{体}} = \frac{2 \times \frac{4}{3}\pi r^3}{a^3} = \frac{2 \times \frac{4}{3}\pi \left(\frac{\sqrt{3}}{4} a\right)^3}{a^3} = \frac{\sqrt{3}}{8} \pi = 0.68$$

即晶格中只有 68% 的体积被原子占据，其余 32% 为空隙。同理亦可求出面心立方晶格和密排六方晶格的致密度均为 0.74。

致密度愈大，晶体中原子排列就愈紧密。表 2 - 1 中列出了三种常见金属晶格的数据。

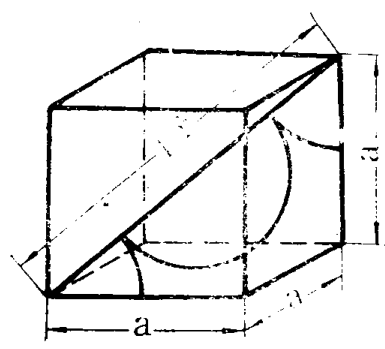


图 2-6 体心立方晶胞中原子半径的计算示意图

表2-1 三种常见金属晶格的数据

晶 格 类 型	晶胞中的原子数	原 子 半 径	配 位 数	致 密 度
体 心 立 方	2	$\frac{\sqrt{3}}{4} a$	8	0.68
面 心 立 方	4	$\frac{\sqrt{2}}{4} a$	12	0.74
密 排 立 方	6	$\frac{1}{2} a$	12	0.74

由表列数据可见，不论从晶体的配位数和致密度来看，面心立方和密排六方晶格的原子排列都比体心立方晶格紧密。

三、晶面和晶向

晶体中由原子构成的面网称为晶面。在晶面上以原子中心连线所指的原子排列方向，称为晶向。

晶体的各种晶面或晶向上，原子分布状况是不同的，有的原子排列紧密，有的排列较稀疏。因此在不同的晶面或晶向上显示出性能的差别。