

面向21世纪 机械工程及自动化
机电一体化 专业规划教材

工程材料及成形技术基础

主编 刘颖 李树奎

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

面向 21 世纪 机械工程及自动化 专业规划教材
机 电 一 体 化

工程材料及成形 技术基础

主编 刘 颖 李树奎



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

该书将各类常用工程材料及其成形加工技术两部分进行系统整合,围绕学习工程材料及其成形加工工艺这一主要目的,在内容上侧重于选择工程应用面最广、使用率较高的相关理论和知识,主要内容包括材料的基本结构、基本性能、变形,材料的凝固与二元合金相图,金属材料的热加工与表面改性、工程材料及其失效分析、金属的液态成形、塑性加工成形、焊接成形、粉末及高分子材料的成形和工程材料及其成形工艺的选用。

该书内容繁简适当、突出重点,具有极强的实用价值。

该书可用于高等院校机械类、近机类本科生学习工程材料及成形技术的教材,也可用于其他专业研究生、本科生学习相关知识的参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

工程材料及成形技术基础/刘颖,李树奎主编. —北京:北京理工大学出版社,2009.7

ISBN 978 -7 -5640 -2342 -3

I. 工… II. ①刘…②李… III. 工程材料-成型-高等学校-教材
IV. TB3

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第097950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/北京圣瑞伦印刷厂

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/27

字 数/634千字

版 次/2009年7月第1版 2009年7月第1次印刷

印 数/1~4000册

定 价/46.00元

责任校对/陈玉梅

责任印制/边心超

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

掌握工业领域常用各类工程材料及其成形加工技术的有关基本理论,了解各类工程材料的主要性能以及各种材料成形加工技术的基本特点是机械类专业本科毕业生在从事相关工作过程中实现正确选材,科学、合理地进行零件结构设计和优化制定成形加工工艺路线所必需的。本书即为依据这一宗旨而为高校机械类专业的“工程材料及其成形技术基础”课程所编写的一本教材。

为读者正确、并以发展的眼光应用各种工程材料及其加工、改性技术奠定一定基础是本教材所期望的。为使读者通过学习所掌握的相关知识更为系统、全面、具有实用价值,且反映出当今材料科学与工程学科发展的一些重要特点,本教材在编写过程中在内容的选取和排列上着重突出了以下几个方面。

(1) 将工程材料和成形加工技术两部分内容进行系统整合,以“材料基本理论—材料基本性能—主要工程材料—材料成形、改性方法”为主线,在内容结构上注意体现相关基本理论、基础知识与工程应用三个层面的融合和呼应,以便读者能够更系统、全面、有条理的学习和掌握相关内容。

(2) 围绕学习工程材料及其成形加工工艺选用这一主要目的,为使读者能够在有限的时间内最大化地获取收益,本教材在内容上偏重于选择工程应用面最广、使用率较高的相关理论和知识予以介绍。

(3) 考虑到社会发展的要求,编者结合当今材料科学与工程技术的进步,选择了一些具有广泛应用前景的先进工程材料及其成形加工技术予以介绍,如镁合金、阻尼材料、阻燃材料、材料表面改性技术等,以期望进一步拓展读者有关材料及其成形加工技术知识的基础,使读者能够以前瞻性的眼光认识、选用先进材料及其加工技术。

本教材内容量按72教学学时编写,考虑到许多高校在教学计划中对本课程教学学时的压缩,本教材在内容安排上力求精练、繁简适当、突出重点。使用本教材授课者可根据具体情况对讲授内容进行相应删减,不讲授内容可作为学生自学。若需对一些内容作更深入的了解,可参考其他相关专业书籍。

参加本教材编写的有北京理工大学的刘颖(第一章、第四章、第六章中镁合金、磁性材料、阻尼材料和阻燃材料部分、第十一章)、李树奎(绪论、第二章、第三章)、李云凯(第六章、第十章)、鄂大辛(第七章、第八章)、王迎春(第五章)、赵修臣(第九章)。在本教材的编写过程中,北京理工大学吕广庶教授以他丰富的教学经验给予了指导和帮助,同时编者也参考了其他同类教

材，在此一并表示感谢！

受编者水平所限，本教材难免会有不足之处，恳请读者批评并提出修改建议，以便改进。

编 者

目 录

绪论	1
第一章 材料的基本结构	5
第一节 材料的结合键	5
第二节 材料中原子等的堆积排列方式	7
第三节 金属材料的结构	18
第四节 常用陶瓷材料的结构	22
第五节 高分子材料的结构	24
第六节 复合材料的结构	27
习题	28
第二章 材料的基本性能	30
第一节 材料的力学性能	30
第二节 材料的物理性能	42
第三节 材料的化学性能	47
习题	48
第三章 材料的变形	49
第一节 金属材料的塑性变形	49
第二节 陶瓷材料的变形	60
第三节 高分子材料的变形	61
习题	64
第四章 材料的凝固与二元合金相图	65
第一节 金属凝固的一般规律	65
第二节 常用二元合金平衡相图	70
第三节 合金性能与其相图的关系	77
第四节 铁碳合金平衡相图	78
第五节 铸锭(件)的凝固组织与成分偏析	88
第六节 聚合物的结晶	91
习题	92

第五章 金属材料的热处理与表面改性	94
第一节 钢在加热时的转变	95
第二节 钢在冷却时的转变	97
第三节 钢的退火与正火	102
第四节 钢的淬火与回火	105
第五节 固溶热处理与时效强化	115
第六节 热处理零件的结构工艺性	116
第七节 钢的表面淬火	118
第八节 钢的化学热处理	121
第九节 先进热处理技术	125
第十节 表面改性技术	128
习题	138
第六章 工程材料及其失效分析	140
第一节 常用黑色金属材料	140
第二节 有色金属及其合金	157
第三节 高分子材料	165
第四节 陶瓷材料	174
第五节 复合材料	178
第六节 先进功能材料	186
第七节 材料失效分析	196
习题	199
第七章 金属的液态成形	201
第一节 金属液态成形的工艺基础	201
第二节 砂型铸造	214
第三节 铸件的结构设计	229
第四节 特种铸造及其他铸造成形工艺简介	238
第五节 常用合金铸件的生产	254
习题	262
第八章 金属的塑性加工成形	263
第一节 金属的塑性加工性	263
第二节 锻造成形	265
第三节 板料冲压成形	298
第四节 其他成形工艺	338
第五节 先进成形技术简介	348
习题	365

第九章 金属焊接成形	367
第一节 熔化焊.....	368
第二节 固态焊.....	389
第三节 钎焊.....	393
第四节 常用金属材料的焊接.....	395
第五节 焊接结构与结构设计工艺性.....	399
习题.....	406
第十章 粉末及高分子材料的成形	408
第一节 陶瓷和金属粉末的成形.....	408
第二节 高分子材料的成形.....	412
第十一章 工程材料及其成形工艺的选用	417
第一节 工程材料选用原则.....	417
第二节 材料成形工艺选用原则.....	419
第三节 零件制造用材料及成形工艺举例.....	420
习题.....	423
参考文献	424

绪 论

材料是人类社会赖以生存和发展的重要物质基础，是人类文明、技术进步和社会发展的里程碑。众所周知，人类文明史上曾以材料作为划分时代的标志，如石器时代、青铜器时代、铁器时代等。从老式汽车到现代奔驰跑车、从莱特兄弟的飞机到隐形轰炸机和航天飞机、从电子管计算机到笔记本电脑，科学技术的每一次飞跃都离不开材料技术的进步。材料对社会生活、经济发展、技术进步的方方面面都产生着巨大影响。20世纪60年代人们把材料、能源、信息并列称为现代技术和现代文明的三大支柱，20世纪70年代又把新型材料、信息技术和生物技术列为新技术革命的主要标志。可见，材料的发展和应用在人们的生产和生活中起着十分重要的作用。

一、材料及其成形技术的概念

中国科学院院士、著名材料科学家肖纪美教授曾这样给材料下定义：“材料是可为人类接受而又能经济地制造有用器件的物质”。这个定义中包括了三层重要的内涵，首先，材料属于物质，它是由原子、分子等组成的实体，可以有固态、液态、气态、等离子体状态等不同的存在形式；其次，作为材料的物质一定对人类有用，能够满足人类的某种需求。应该用发展的观点去理解材料的定义，一种物质当人们还没有认识到它的有用价值的时候是不被看做材料的，而当人们认识到它的使用价值并加以研究利用时就可能成为一种十分重要的材料，甚至可能使科学技术产生重大飞跃。半导体材料就是一个很好的例证；第三，材料的制备和使用必须是经济的、有利于环境保护和人类社会持续发展的。

工程材料可以有不同的分类方法。按照材料的物质组成，可将材料分为金属材料、无机非金属材料、高分子（也称高聚物）材料以及由两种或两种以上不同材料复合而成的复合材料。其中，金属材料又分为黑色金属材料（如各种钢铁材料）和有色金属材料（如铜、铝等纯金属及其合金），金属材料的特点是具有高的强度、良好的塑性变形能力、导电导热并具有金属光泽。无机非金属材料的特点是耐高温、耐腐蚀、硬度高、脆性大，一般情况下是绝缘体，如各种陶瓷材料、玻璃等。高分子材料的特点是具有一定强度、易成形、质量轻、一般不导电、耐腐蚀，但容易发生老化变脆和高温软化现象。复合材料是结合了两种或两种以上材料的优点而发展起来的新型材料，包括金属基复合材料、陶瓷基复合材料、树脂基复合材料等。按照材料的用途，又可将材料分为结构材料和功能材料两大类。结构材料是以力学性能为主要要求的一类材料，广泛用于铁路、桥梁、建筑、机器的制造；功能材料是以物理性能或化学性能要求为主，以力学性能要求为辅并在某方面具有特殊功能的一类材料，如激光红宝石材料、压电陶瓷材料、磁性材料、光电材料、阻燃材料等。对工程材料还可以按其他方法进行分类，如按照材料的尺度可将材料分为三维材料和低维材料，如二维薄

膜材料、一维材料和零维材料。

由材料到器件的转变过程属于材料成形技术领域。材料只有经过各种加工,包括材料的成形、改性、连接等各种方法,才能体现其功能和价值。因此,材料应用和材料成形技术是机械制造生产过程的重要组成部分。对机械制造业而言,其生产过程就是将原材料加工成为产品的过程,而不同的产品或零件应选择相应的材料和与其相适应的成形方法及加工过程。原材料经加工、制造成零件到装配成成品的全过程表现为物质流的形式,同时伴随着信息流和能量流,它们共同构成机械制造系统的整个流程。

材料的选用与成形工艺是机械零件获得所需性能的重要保证。原材料本身的性质是机械零件使用性能达到设计要求的基础,因此对于不同服役条件下使用的零件应选择具有相应性质的材料。材料成形技术主要包括液态成形、塑性成形、焊接成形以及粉末成形等方法。材料成形加工使毛坯或零件获得一定的形状和尺寸,同时也对加工后材料的性质产生重要影响。因此,选择加工工艺不仅要考虑到原材料性质的要求、零件的结构特点,还要考虑到加工方法引起的材料性质变化,以满足零件使用性能的要求。如铸铁件适合采用铸造工艺来生产,而铸件的性能除与合金成分有关外还在很大程度上取决于铸造成形的工艺方法。材料经过塑性成形,内部组织得到改善,因此相同成分金属材料制成的锻件其综合力学性能与铸件相比显著提高。焊接成形会使焊缝和热影响区内的金属组织发生变化并影响到结构性能和承载能力。再比如通过热塑成形的塑料制品、通过粉末冶金成形的制品、通过烧结成形的陶瓷制品也都存在类似的问题。因此,要保证和提高产品质量就必须做到合理选择材料及其成形工艺。

材料的成形工艺应与材料的性质相适应,当材料具有某些特殊性质时可以使成形工艺得到简化甚至可以使整个机构设计方案得到简化。如某些金属材料在一定条件下可表现出超塑性,塑性变形可达100%~300%,比一般金属材料的一次最大塑性变形能力大得多,用这种材料制作的零件极易成形,可采用多种工艺方法一次成形出形状复杂的零件。又如形状记忆合金材料具有形状记忆效应,当温度变化时可恢复原来的形状,最早在美国阿波罗登月计划中被采用。这种材料广泛用于人造卫星天线,当卫星发射时可将天线折叠起来,卫星升空后经太阳辐照升温,天线自动打开到工作状态,免去了一套复杂的自动开启机构。

随着材料科学和成形工艺技术的发展,出现了材料制备与材料成形一体化的发展趋势。传统的制造业中原材料的生产和材料的成形加工是先后两个不同的阶段,但现代制造业中很多器件将材料的生产与器件的成形加工融为一体,材料的制造与器件的制造界线越来越不清楚,如很多电子元器件的制造过程便是如此。此外,随着新材料的不断出现,材料的分类也变得困难。如形状记忆合金既可以看做结构材料也可以看做功能材料,也有人将其称为智能材料。

对材料的使用和加工伴随了人类历史的整个过程,但用科学的方法研究各种材料及其成形工艺是近100年的事情。新材料、新技术的应用正在改变着人们的生活方式,使人们的生活水平得到提高。科学技术发展到今天,工程材料及其成形技术已不再仅仅是技术经济领域的范畴,它对发展循环经济、保护环境、创造人与自然的和谐起着重要的作用。从材料的设计、制备、加工、检测到器件的生产、装配、使用和回收再利用,已经发展成为一个巨大的社会循环,利用科学的方法研究开发高性能、环保型新材料及其相应的先进成形技术必将对解决资源短缺问题、改善人类生存环境、建设节约型社会产生积极的推动作用。

新材料的研制、新工艺的应用标志着一个国家的科学技术水平和文明程度。历史上曾经用钢的产量来衡量一个国家的工业化发展水平。中华民族在材料生产和成形技术方面曾经有过辉煌的成就，为人类文明做出了巨大的贡献。新中国成立以后，党和政府十分重视材料领域的科学研究工作，尤其是改革开放以后在新材料的研究和应用领域投入大量人力、物力，取得了丰硕的成果，创造了巨大的经济效益和社会效益。近年来，新材料技术已形成稳定的产业，新材料产值超过几十亿元。新材料的研制和应用有力地推动了载人航天事业的发展。

二、学习本课程的意义及方法

工程材料及其成形技术是机械类专业的一门重要的技术基础课。作为一名从事机械工程领域技术工作的人员，无论是从事设计、制造、运行维护等哪方面的工作，都要面对工程材料和成形工艺的选择、使用问题，因而必须要掌握工程材料和成形工艺方面的基础理论和必要的专业知识，具备解决与材料相关的实际工程问题的能力。

首先，工程材料及其成形技术是机械设计的重要基础。机械产品及其零部件的结构设计与材料选择、加工工艺是有机联系的整体，不能将任何一个环节孤立出来。在结构设计时除要求所选材料的使用性能满足承载能力和功能要求外，还必须考虑加工工艺方法对材料性质的适应性以及相应加工工艺方法对零件结构的要求，即零件的结构工艺性问题，同时应注意到加工工艺对材料使用性能的影响。因为对于具有一定化学成分的材料而言，其性能只有在特定的组织结构状态下才能达到使用要求，凡是能改变其组织结构的加工或使用过程都能使材料性能发生变化。

其次，就加工制造而言，更是离不开工程材料及其成形技术方面的基础知识的支撑。零件的制造和机械产品的装配、调试是一个复杂的系统工程，每一道工序都对产品质量产生重要影响，只有合理选择加工工艺方法并安排好工艺路线才能保证产品的最终技术经济指标达到设计要求。零件的成形工艺是其加工制造过程中的重要环节，对材料性能的影响也是最大的。掌握零件成形工艺方法及其对材料性能的影响对零件的加工制造十分重要。

此外，机器的使用、维护也需要了解工程材料及成形技术方面的知识。只有正确的使用和维护保养才能最大限度的发挥零件和机器的效能，延长使用寿命。同时，学习本课程还能为零件的失效分析提供必要的基础知识。

本课程在内容结构上大体分为基本理论、基础知识与工程应用三个层面，在相关知识点上读者可根据情况按“掌握、熟悉、了解”三个层次来把握。

在基本理论方面，应明确一个基本规律：即材料的性能决定于材料的成分和组织结构。这是不同种类材料的性能相差悬殊的根本原因。此外，对于成分确定的材料当其微观组织发生变化时其性能可以改变，热处理、表面改性、成形过程都可以改变材料整体或局部的组织从而影响到材料的性能。

在基础知识方面，主要包括以下内容：各类工程材料的特点及应用，如金属材料、工程陶瓷材料、高分子材料和复合材料的特点及应用；各种材料改性工艺的特点及应用，如各种热处理工艺及表面改性工艺的工艺特点、获得的组织状态和性能特点、主要应用等；各种成形工艺的特点和应用，包括液态成形、塑性成形、焊接成形以及粉末和高分子材料成形；零件材料质量的控制；新材料的发展及现代材料改性工艺和成形工艺的进展。

工程应用是本课程的主要教学目的，它以基本原理和基本知识为基础，将工程材料与成

形技术的原理、方法在机械设计和机械制造中加以运用。学习过程中应注意以下几个方面的问题：工程材料与成形工艺的合理选用；合理安排材料改性与成形工艺在整个工艺流程中的位置；材料的工艺性能及材料改性、成形工艺的零件结构工艺性问题；主要改性工艺及成形工艺的应用；材料质量检验方法与失效分析方法；对工程材料及改性与成形工艺的分析能力和与专业人员的沟通交流能力。

本课程是一门实践性很强的课程，在教学过程中应结合必要的实践教学环节。同时，本课程内容涉及面广，在学习时应把握主线，掌握基本规律，重视应用。

习 题



1. 什么是材料？材料在人类社会的发展和技术进步中发挥着什么样的作用？
2. 材料的基本分类方法有哪几种？金属材料、无机非金属材料、高聚物各自具有什么样的性能特点？工程上对结构材料和功能材料的性能要求有何不同？
3. 材料成型的主要方法有哪些？所选择的成形方法为什么要与材料的性质相适应？
4. 作为一名从事科学和工程技术工作的人员，学习材料科学与成形工艺方面的知识有何重要意义？

材料的基本结构

人类对各种工程材料的使用基于材料所具有的各种力学、物理和化学性能。不同化学成分组成的材料具有不同的性能，即使具有相同化学成分组成的材料也可以具有不同的性能。因此，了解和掌握决定材料性能的主要因素对于正确选择和使用材料具有重要的实际意义。已有的研究表明材料的各种性能主要取决于以下三个因素。

(1) 组成材料的原子、离子或分子之间的结合键类型。结合键的特性决定了材料构成原子、离子或分子之间的结合力大小以及材料对各种外界作用（力、电、磁、光、热等）的响应特征。

(2) 组成材料的原子、离子或分子在三维空间的堆积排列状态，即材料的微观结构。其也影响着原子、离子或分子之间的结合力大小以及材料对各种外界作用的响应特征。对于具有相同化学构成的材料，其微观结构有可能不同。

(3) 材料的微观组织，即材料中同种或异种原子、离子或分子所形成的各种聚集体（称之为相）的形貌、大小及其分布等。具有相同化学构成和相同微观结构的材料性能可因其微观组织不同而有不同。

第一节 材料的结合键

各种类型的材料都是由原子或离子、分子构成。材料中的原子或离子、分子以一定的方式相互结合在一起，其结合方式称为结合键。结合键按原子、离子或分子间结合时相互作用的特点分为离子键、共价键、金属键和范德华键以及氢键。由于不同的结合键具有不同的特性，使得材料具有不同的性能特征。

一、离子键

当元素周期表中外层电子少、且易失去价电子的元素原子与外层电子多、且易得到价电子的元素原子接近时，前者将失去价电子变成带正电荷的正离子，后者将获得价电子变成带负电荷的负离子。当带正电荷的正离子和带负电荷的负离子接近时，二者可因静电吸引而相互结合形成化合物。这种依靠正、负离子间静电吸引而产生的结合称为离子键。离子键的结合力较强，因此，由离子键结合所形成的物质往往具有较高的熔点、硬度、弹性模量以及较低的热膨胀系数和较低的导热系数。固态的离子键物质中很难产生自由运动的电子，因此，其具有不导电性。然而，当离子键物质处于熔融状态时，其正、负离子处于自由状态，因此具有导电性。此外，由于离子键物质中同种电荷离子之间的排斥作用，离子之间不能形成很紧密的空间

堆积结构,所以离子键物质具有较低的密度。NaCl、BaCl 等一些无机盐和 Fe_3O_4 、 Al_2O_3 、 ZrO_2 等一些无机非金属磁性材料和陶瓷材料为离子键结合。

二、共价键

对于处于元素周期表中间位置的三、四、五价元素,原子既可能获得电子变为负离子,也可能丢失电子变为正离子。当这些元素原子之间或与其近邻元素原子结合时,以共用价电子的方式实现结合。这种原子间利用共用价电子而相互结合的方式称为共价键。共价键形成的结合力很强,且电子不能自由运动,所以由共价键结合所形成的物质通常具有较高的熔点、硬度、弹性模量和低的热膨胀系数以及不导电性。典型的共价键物质有目前已知硬度最高的金刚石。由于共价键具有饱和性和方向性,使以共价键结合的原子难以形成空间紧密堆积结构,因此,共价键物质具有较低的密度。金刚石、 Si_3N_4 等一些无机非金属材料属于共价键结合。

三、金属键

金属是以金属键结合为主的材料。由于金属原子极易失去外层价电子而成为正离子,因此,当金属原子相互接近时,各金属原子的价电子便会挣脱原金属原子核的束缚成为所谓“自由电子”,“自由电子”在失去价电子的各金属正离子间自由运动并为所有金属正离子共有。金属正离子与自由电子间的静电作用力使各金属原子结合在一起,这种结合方式称为金属键。由于自由电子的存在,金属键物质具有较好的导电和导热性。同时,自由电子易吸收光波能量而产生跃迁,从而使金属具有金属光泽。此外,金属键无饱和性、无方向性,使得原子间可以产生滑动而具有较好的塑性,并且每个原子趋于同更多的其他原子结合而易呈现出空间密堆结构,因此,金属键物质往往具有较高的密度。

四、范德华键

范德华键是一种相邻分子因各自静电偶极矩相互作用而产生的结合方式。分子的静电偶极矩来自以下几个方面。

(1) 静电力:由正、负电荷中心不重叠的极性原子或分子的永久偶极矩相互作用而产生的结合力。

(2) 诱导力:由极性原子或分子的永久偶极矩与由极性原子或分子永久偶极矩在非极性分子中产生的诱导偶极矩相互作用而产生的结合力。

(3) 色散力:由分子中电子运动产生的正、负电荷中心瞬时不重叠形成的偶极矩相互作用而产生的结合力。

范德华键没有方向性和饱和性,其结合力比离子键、共价键、金属键小 1~2 个数量级。高分子材料中分子之间的结合键往往为范德华键。

五、氢键

当氢原子与一个电负性(即获得电子的能力)很强的原子或原子集团结合时,氢原子唯一的电子将强烈地转移至该原子或原子集团一侧,在结合物中形成较强的静电偶极矩。该静电偶极矩与相邻的静电偶极矩相互作用产生分子间的结合。在这种结合方式中氢原子起到

了重要的桥连作用，故称其为氢键。氢键本质上与范德华键相似，其结合力比范德华键要强，但弱于离子键、共价键和金属键，且具有方向性和饱和性。高分子材料中分子之间的结合有些属于氢键。

六、不同类型材料的结合键特点

不同类型材料的结合键往往具有不同的特点，其构成原子或离子、分子之间的结合可以是一种结合键，也可以是以一种结合键为主并兼有其他结合键。表 1-1 列出了现代四大类材料的结合键类型及其性能特点。

表 1-1 四大类材料的结合键类型及其性能特点

材料类型	结合键	熔点	弹性模量	强度和硬度	塑性和韧性	导电和导热性	耐热性	耐蚀性	其他
金属材料	以金属键为主	较高	较高	较高	良好或较差	良好	较高	一般	密度大，热膨胀系数较大
陶瓷材料	离子键或共价键	高	高	抗拉强度较低，抗压强度和硬度高	差	绝缘，导热性差	高	高	密度小，热膨胀系数小
高分子材料	分子内为共价键，分子间为分子键	较低	较低	较低	变化大	绝缘，导热性差	较低	高	密度小，热膨胀系数大，易老化
复合材料	取决于其组成物	取决于其各组成物的性能							

第二节 材料中原子等的堆积排列方式

各种材料都是由众多原子（如金属）或离子（如 NaCl、Al₂O₃ 等化合物）、分子以一定的结合键结合并在三维空间堆积排列而成。构成材料的原子或离子、分子在三维空间的堆积排列可以体现出一定的几何规则，也可以处于无序状态。材料构成原子或离子、分子的空间堆积排列方式不同反映出材料具有不同的微观结构。按照构成原子或离子、分子在三维空间的堆积排列情况，可以将固体物质分为晶体和非晶体。

一、晶体

晶体是指其构成原子或离子、分子在三维空间呈现出周期性规则堆积排列的固体，图 1-1 (a) 所示即为由原子或离子构成的晶体。而非晶体是指其构成原子或离子、分子在三

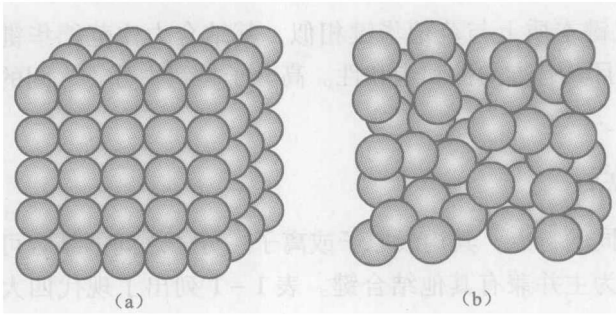


图 1-1 晶体与非晶体构成原子在空间的堆积
(a) 晶体; (b) 非晶体

维空间呈现无规则堆积排列的固体, 图 1-1 (b) 所示即为由原子或离子构成的非晶体。金属、无机非金属材料通常表现为晶体, 而高分子材料易表现为非晶体。对于确定成分的晶体, 其具有固定的熔点 (凝固点), 而非晶体则没有明确的熔点 (凝固点)。

1. 晶体结构、晶格与晶胞

不同晶体中原子或离子、分子排列的规则往往不同, 将晶体中原子或离子、分子具有自有特征的规则排列称为该晶体的晶体结构。晶体结构反映了材料内部原子或离子、分子间的相互空间位置, 体现了近邻原子或离子、分子间的相互作用状态, 因此影响晶体的各种性能。为研究方便起见, 对于由原子或离子构成的金属和无机非金属而言, 可将其构成原子或离子视为质点, 将这些分布于三维空间的质点按一定的规则以直线相连便构成由质点和直线形成的三维空间格子, 称其为晶格, 晶格中质点所占据的位置称为晶格的结点或平衡位置, 如图 1-2 (a) 所示。晶格的空间构造反映了晶体结构的特征。由于晶体中原子或离子规则排列的周期性, 在许多情况下对晶体进行研究时, 没有必要研究整个晶体, 而只需从晶体中取出能够完全反映晶体中原子或离子排列规则的一小部分晶体进行分析即可。将按照一定规则从晶体中取出的能够完全反映晶体原子或离子排列规则的最小晶体单元 (通常为六面体) 称为晶胞, 如图 1-2 (b) 所示。而整个晶格无非是所取晶胞在三维空间的重复堆积。

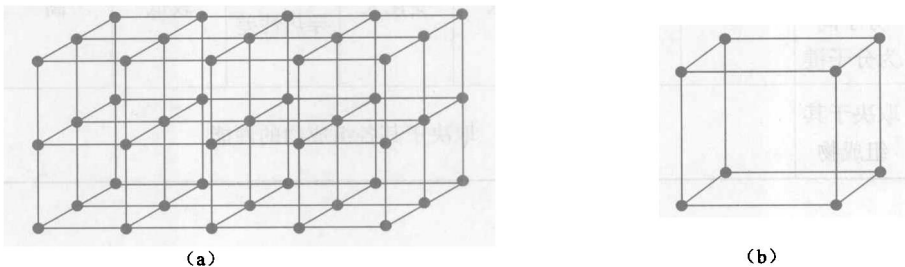


图 1-2 晶体的晶格与晶胞
(a) 晶格; (b) 晶胞

如图 1-3 所示, 可在晶胞中以某一原子为原点, 以晶胞的棱为坐标轴建立三轴坐标系。以 a 、 b 、 c 分别表示沿 x 、 y 、 z 轴的晶胞棱长, 以 α 、 β 、 γ 分别表示各坐标轴之间的夹角。

按晶胞的各棱棱长及各棱之间夹角的关系 (晶格中质点在三维空间的基本排列规律) 可以将各种晶格划分为如表 1-2 所示的立方晶系、六方晶系、四方晶系、正交晶系等七个大类, 其下又可分为简单立方、体心立方、面心立方、简单六方、简单四方、体心四方等共 14 种基本的晶格形式, 也称布拉菲点阵。

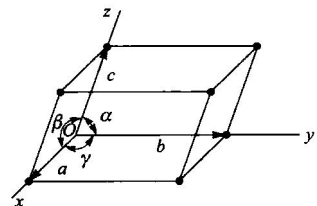
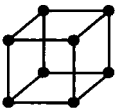
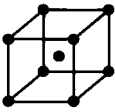
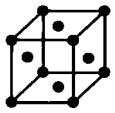
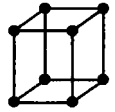
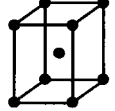

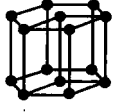
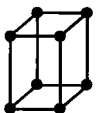
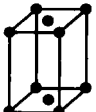
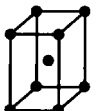


图 1-3 晶胞中的三轴坐标系

表 1-2 晶体的晶系及布拉菲点阵

晶系	特征	布拉菲点阵
立方晶系	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	简单立方 
		体心立方 
		面心立方 
四方晶系	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	简单四方 
		体心四方 
菱方晶系	$a = b = c,$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	简单菱方 
六方晶系	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	简单六方 
正交晶系	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	简单正交 
		底心正交 
		体心正交 
		面心正交 