

63

7-114-83

621a

机械工程材料教程

齐宝森 姜 江 边 浩 陈传忠 陈方生 刘如伟

主 编



地 震 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

机械工程材料教程/齐宝森等主编. —北京:地震出版社, 2001. 9

ISBN 7-5028-1907-X

I. 机… II. 齐… III. 机械制造材料—教材

IV. TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 049243 号

内 容 提 要

本书是机械类、近机械类各专业大学本、专科生必修的一门重要的技术基础课程用书。全书遵循材料科学体系,紧密结合新材料发展趋势,由浅入深,共分为七章而展开。

本书的特色是以材料的“化学成分(组成)—加工工艺—组织、结构—性能—应用”为主线索,以机械工程材料的强韧化、提高材料的性能为根本出发点;在各章内容编排上注意引导学习者独立思考、培养其能力,首先从问题入手,再转入相应内容,各章末附有习题、思考题及相应的参考文献,以利于深入学习、理解、消化本章内容时参考;同时适量地增加了新材料、新技术与新工艺方面的知识,及时反映了工程材料的发展趋势。

与本书配套使用的教学辅助教材有《大学生学习方法指南》、《机械工程材料学习指导》(已由地震出版社正式出版),为学习者提供全方位指导。本书同样适用于成人高等教育相关专业的学生使用,也适用于工程技术人员参考。

机械工程材料教程

齐宝森 姜 江 边 洁 陈传忠 陈方生 刘如伟 主编

责任编辑: 张晓梅

出版发行: 地震出版社

北京民族学院南路 9 号

邮编: 100081

发行部: 68423031 68467993

传真: 68423031

门市部: 68467991

传真: 68467972

总编室: 68462709 68423029

传真: 68467972

E-mail: Seis@ht.rol.cn.net

经销: 全国各地新华书店

印刷: 山东山大科苑印刷厂印刷

版(印)次: 2001 年 9 月第一版 2001 年 9 月第一次印刷

开本: 787×1092 1/16

字数: 433 千字

印张: 17

印数: 0001~2000

书号: ISBN 7-5028-1907-Z/G·188 (2456)

定价: 30.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题,本社负责调换)

前 言

为了适应 21 世纪材料科学的发展与教学改革的需要,本着进一步拓宽学生的专业知识面、加强基础知识、重在学生能力的培养这一宗旨,根据多年来的教学实践并且在编写《机械工程材料》、《机械工程非金属材料》讲义与教材的基础上,重新编写了本书。

本书是机械工程、化学工程、能源动力工程等专业大学本科生、专科生必修的一门重要的技术基础课程用书。其目的是使学生获得有关工程结构和机器零件常用的工程材料方面的有关基本理论、基础知识和主要性能特点,并使其具备根据机械零件工作条件、常见失效方式来确定机械零件所需要的性能,合理地选择与使用材料,正确地制定机械零件加工工艺路线的初步能力。

全书共分为四大部分(七章)。第一部分(一至三章)为材料科学基础理论,重点分析、讨论了材料的“化学成分(组成)—组织、结构—性能”三者之间的相互关系与变化规律,其中重点突出了工业上广泛使用的“铁碳合金相图”这一内容。第二部分(第四章)为材料的强化部分,从机械工程材料的强韧化入手,深入剖析了钢铁材料的热处理原理与工艺,表面强化技术,以及钢的合金化原理与冶金质量等。第三部分(五至六章)为常用机械工程材料介绍,以工业用钢为重点、典型钢号为引子,按照“材料的主要用途—性能要求化学成分特点(其中包括合金元素的主要作用)—热处理工艺特点以及相应组织”这一思路而深入展开的。第四部分(第七章)为机械工程材料的合理选用部分,重点概括了机械零件合理选用的基本原则以及齿轮、轴、气轮机叶片等典型零件的选材分析。

本书的特点是:

1. 遵循材料科学体系,以机械工业上广泛使用的工程材料为研究对象,是以材料的“化学成分(组成)—加工工艺—组织、结构—性能—应用”为纲,而层层展开的。

2. 以机械工程材料的强韧化、提高材料的性能为根本出发点,阐述了变更材料加工工艺的重要性与具体措施(如钢的热处理,提高钢铁冶金质量,控制轧制,形变热处理与合金化原理等)。

3. 为了有助于培养学生独立分析与解决问题的能力,本书在各章内容的编排上首先从问题入手,以期引发思考,再转入相应内容;各章末均附有习题与思考题(带*号),旨在引导学生及时理解、消化本章内容;同时各章末尾均设有进一步阅读的参考文献,全书末尾还附有详尽的索引,以利于学生进一步学习、查阅与深化理解时参考。

4. 适量地增加了新材料与功能材料、非金属材料、新技术、新工艺等方面的有关知识，及时反映了机械工程材料的发展趋势。

本书由齐宝森、姜江、边洁、陈传忠、陈方生、刘如伟主编，李木森、许本枢教授担任主审。

特别需要说明的是在本书的编写过程中，曾先后得到彭其凤、孙希泰、乔毅南、王世清、王成果、孙玉璞等教授鼎立相助和悉心指导，谨此致以诚挚谢意！

由于编者水平有限，书中难免存在错误、缺点与不足之处，恳请广大师生与读者批评指正。

编 者

2001年1月于山东大学

目 录

绪 论	(1)
一、材料与材料科学的发展	(1)
二、机械工程材料在机械工业中的地位与作用	(1)
三、面向 21 世纪, 新材料的发展趋势	(2)
四、《机械工程材料教程》的目的、性质与学习要求	(3)
 第一章 机械工程材料的结构	(5)
请带着下列问题学习本章内容	(5)
第一节 固态物质中原子的排列方式	(5)
一、固态物质结合键的特性	(5)
二、原子的排列方式	(5)
第二节 固体材料的晶体结构特点	(7)
一、有关晶体结构的基本概念	(7)
二、纯金属的晶体结构	(8)
三、共价晶体与离子化合物的晶体结构	(11)
第三节 实际晶体的特点	(11)
一、点缺陷	(12)
二、线缺陷(位错)	(12)
三、面缺陷	(14)
第四节 一般工程材料的结构特点	(15)
一、材料(包括合金)的相结构	(15)
二、聚合物的结构	(18)
三、陶瓷材料的结构	(20)
四、同素异构(晶)转变(亦称多晶型转变)	(22)
习题与思考题(*)	(24)
进一步阅读的参考文献	(25)
 第二章 凝固、结晶与相图	(26)
请带着下列问题学习本章内容	(26)
第一节 材料的凝固过程	(26)
一、凝固与结晶的条件	(26)
二、纯质材料的结晶	(27)
三、陶瓷、聚合物材料的凝固过程	(29)
第二节 二元相图的基本类型	(30)
一、相图的建立	(30)

二、匀晶相图	(31)
三、共晶相图	(33)
四、包晶相图的特征	(36)
五、具有稳定化合物的相图	(37)
六、具有共析反应的相图	(37)
七、二元合金相图与性能之间的关系	(37)
第三节 典型二元相图的应用——铁碳合金相图分析	(39)
一、铁碳合金相图中的组元与基本相	(39)
二、铁碳合金相图分析	(41)
三、铁碳合金的平衡结晶过程分析与相应组织	(43)
四、碳含量对铁碳合金平衡组织与性能的影响	(46)
五、铁碳合金相图的局限性	(48)
第四节 凝固与结晶理论的应用	(49)
一、铸态晶粒度的控制	(49)
二、单晶体的制备	(50)
三、定向凝固技术	(51)
第五节 材料的非晶态	(52)
一、材料的非晶态特性	(52)
二、非晶态材料的制备与应用	(53)
习题与思考题(*)	(54)
进一步阅读的参考文献	(56)

第三章 材料的力学行为、塑性变形与再结晶	(57)
请带着下列问题学习本章内容	(57)
第一节 材料的力学行为与金属的塑性变形	(57)
一、材料的常用力学性能指标	(57)
二、金属的塑性变形	(63)
第二节 冷变形加工对金属组织与性能的影响	(68)
一、冷变形加工(冷塑性变形)对金属组织、结构的影响	(68)
二、冷变形加工(冷塑性变形)对金属性能的影响——加工硬化	(69)
三、产生残余内应力	(70)
第三节 冷变形加工的金属在加热时组织与性能的变化	(71)
一、回复	(71)
二、再结晶	(71)
三、晶粒长大	(73)
第四节 金属的热变形加工	(73)
一、冷、热变形加工的区别	(73)
二、热变形加工对金属组织和性能的影响	(74)
三、生产中应制定正确的热变形加工工艺	(75)

第五节 超塑性成形简介	(75)
一、超塑性的概念	(75)
二、超塑性的分类及工艺特点	(76)
三、超塑性的应用	(76)
习题与思考题(*)	(76)
进一步阅读的参考文献	(78)
 第四章 机械工程材料的强韧化	(79)
请带着下列问题学习本章内容	(79)
第一节 材料的强化与强韧化	(79)
一、材料强度与强化的概念	(79)
二、工程材料的常见强化方式	(80)
三、金属材料的强韧化	(83)
四、聚合物材料的强韧化	(83)
五、陶瓷材料的强韧化	(85)
第二节 钢铁材料热处理原理	(86)
一、钢在加热时的转变	(86)
二、奥氏体在冷却时的转变	(89)
三、淬火钢在回火时的转变	(101)
第三节 钢铁材料的热处理工艺	(103)
一、退火与正火	(104)
二、淬火与回火	(106)
三、钢的淬透性	(108)
第四节 表面强化技术	(111)
一、表面工程与表面强化概述	(111)
二、表面淬火	(112)
三、化学热处理	(114)
四、热喷涂技术	(118)
五、高能束(激光束、离子束及电子束)技术	(119)
六、气相沉积技术	(123)
第五节 特种热处理新技术	(126)
一、真空热处理	(126)
二、可控气氛热处理	(127)
三、形变热处理技术	(129)
第六节 钢的合金化原理与冶金质量	(131)
一、合金元素对钢平衡组织与力学性能的影响	(131)
二、合金元素对钢热处理与力学性能的影响	(133)
三、努力提高钢材的冶金质量	(135)
习题与思考题(*)	(137)

进一步阅读的参考文献	(140)
------------	-------

第五章 常用的金属材料	(142)
--------------------	--------------

请带着下列问题学习本章内容	(142)
---------------	-------

第一节 工业用钢的分类与编号	(142)
-----------------------	--------------

一、分类方法	(142)
--------	-------

二、编号原则	(144)
--------	-------

第二节 工程结构用钢	(145)
-------------------	--------------

一、工作条件与性能要求	(145)
-------------	-------

二、化学成分、强化途径、热处理特点与相应组织	(145)
------------------------	-------

三、碳素结构钢(碳素构件用钢, 简称普碳钢)	(145)
------------------------	-------

四、低合金结构钢(低合金钢, 低合金高强度钢, 或普低钢)	(147)
-------------------------------	-------

五、进一步提高低合金结构钢性能的途径	(147)
--------------------	-------

第三节 机械结构用钢(机器制造用钢)	(149)
---------------------------	--------------

一、综述	(149)
------	-------

二、调质钢	(150)
-------	-------

三、表面硬化钢	(152)
---------	-------

四、超高强度钢	(154)
---------	-------

五、弹簧钢	(157)
-------	-------

六、滚动轴承钢	(158)
---------	-------

七、易切削钢	(162)
--------	-------

第四节 工具钢	(163)
----------------	--------------

一、工具钢的特点(与结构钢对比)	(163)
------------------	-------

二、刃具钢	(164)
-------	-------

三、模具钢	(170)
-------	-------

四、量具钢	(172)
-------	-------

第五节 特殊性能钢	(173)
------------------	--------------

一、不锈钢	(173)
-------	-------

二、耐热钢和高温合金	(178)
------------	-------

三、耐磨钢	(182)
-------	-------

四、金属间化合物结构材料	(183)
--------------	-------

第六节 铸铁与有色金属合金	(185)
----------------------	--------------

一、铸铁的特征	(185)
---------	-------

二、常用铸铁的特点	(189)
-----------	-------

三、特殊性能的铸铁	(194)
-----------	-------

四、铝及铝合金的特征	(196)
------------	-------

五、铜及铜合金	(201)
---------	-------

六、滑动轴承合金	(203)
----------	-------

习题与思考题(*)	(205)
-----------	-------

进一步阅读的参考文献	(207)
第六章 聚合物、陶瓷与复合材料	(208)
请带着下列问题学习本章内容	(208)
第一节 聚合物材料	(208)
一、聚合物的特征	(208)
二、工程塑料	(211)
三、橡胶材料	(215)
四、胶粘剂与纤维材料	(217)
五、功能聚合物材料简介	(221)
第二节 工程陶瓷材料	(222)
一、陶瓷材料的使用性能	(222)
二、陶瓷材料的分类	(223)
三、常用工程结构陶瓷材料	(223)
四、金属陶瓷材料	(224)
五、晶体材料与超硬材料	(226)
六、功能陶瓷材料简介	(227)
第三节 复合材料	(228)
一、复合材料的性能	(228)
二、复合材料的分类	(229)
三、聚合物基复合材料	(230)
四、陶瓷基复合材料	(231)
五、金属基复合材料	(231)
六、碳-碳复合材料	(232)
七、塑料-金属多层复合材料	(234)
第四节 新型工程材料简介	(234)
一、神秘的形状记忆材料	(234)
二、未来的能源库——贮氢材料	(237)
三、电力电子技术的基石——磁性材料	(238)
四、改善环境的减振材料	(240)
五、造福未来的超导材料	(242)
六、21 世纪的新材料——纳米材料	(244)
七、被誉为“未来材料”的生物材料	(248)
八、极具发展前途的梯度功能材料	(250)
习题与思考题(*)	(252)
进一步阅读的参考文献	(253)
第七章 机械工程材料的合理选用	(255)
请带着下列问题学习本章内容	(255)

第一节 工程材料选用的基本原则	(255)
一、充分考虑材料的使用性能原则	(255)
二、必须兼顾材料的工艺性能原则	(259)
三、还应十分注重材料的经济性原则	(261)
第二节 典型机械零件的选材分析	(262)
一、齿轮类机械零件的选材分析	(263)
二、轴类机械零件的选材分析	(266)
三、汽轮机叶片的选材分析	(269)
习题与思考题(*)	(270)
进一步阅读的参考文献	(271)
 索 引	 (272)
参考文献	(287)

绪 论

一、材料与材料科学的发展

材料是人类生产活动和日常生活所必需的物质基础。材料的利用标志着人类社会发展的进程。纵观人类历史的发展,就是以所使用材料的不同而划分为石器时代、青铜器时代和铁器时代的。现代工业技术的发展,同样与材料特别是新材料紧密相连。材料、能源和信息技术是发展现代科学技术的三大支柱,而能源和信息技术的发展又依赖于材料的开发与应用。当前,全世界材料总数约 50 万余种之多,而新材料每年又以 5% 左右的速度递增。因此,材料的质量、品种和数量就成为衡量一个国家科学技术、国民经济水平和国防力量的重要标志之一。

材料,按其使用性能可分为结构材料和功能材料。所谓结构材料,主要是指要求强度、硬度、塑性、韧性等力学性能,用来制造机器零件和工程构件的材料;而功能材料则指主要利用其电、光、声、磁、热等效应和功能的材料。然而伴随着现代科技和生产的突飞猛进,能源、信息、空间技术的快速发展,不但要求所使用的材料具备严格的力学性能,而且还要求材料具备特定的物理功能。因此,机械工程材料的研究内容由单纯结构材料而扩展为以结构材料为主,同时兼顾其特殊的功能材料,从而适应材料科学与新材料的发展趋势。机械工程材料按其化学组成可分为金属材料、聚合物材料、无机非金属材料(即陶瓷材料)和复合材料等四大类。

同人类历史发展一样,机械工程材料也有一个发展过程。在 20 世纪 40~50 年代,材料的发展主要围绕着机械制造业,因此金属材料得到了长足的发展。90 年代以后,现代科学技术和生产的突飞猛进,不但要求生产更多具有高强度和特殊性能的金属材料,而且要求迅速发展更多、更好的非金属材料。而在阔步迈入 21 世纪的今天,人们在发展高性能(如高温、高强度、高比强度等)金属材料的同时,正迅速发展和应用高性能(如高比强度、高比模量、耐高温等)的非金属材料,并且正在进入人工合成材料的崭新时代。

目前,虽然金属材料、聚合物材料、无机非金属材料(陶瓷材料)与复合材料四大类材料平分秋色,但金属材料依然是最主要的机械工程材料,尤其是以钢铁材料使用最广,约占 80% 以上。面向 21 世纪,金属材料仍占主导地位。

二、机械工程材料在机械工业中的地位与作用

机械工业是基础工业,它为各行各业提供机械装置,而所有的机器都是由许多性能各异的材料加工或各种零件组装而成的。对于一种机械产品,人们总是力求其功能优异、结构紧凑、质量稳定、安全可靠、价格低廉。这就需要高水平设计、合理加工和正确使用,三者密切配合。这三个环节都要涉及到许多材料问题。而一般机械设计应包括结构设计和材料设计两方面,缺一不可。从某种意义上讲,材料设计实质上是零件内部结构设计,是保证产品内在质量的关键。

因此, 无论对于从事机械设计, 机械制造, 还是机械运行的工程技术人员, 都必须具备有关机械工程材料方面的基本知识。面对如此浩瀚、五彩缤纷的材料世界, 如何正确地选用材料, 充分发挥材料的性能潜力, 做到既经济又合理, 是机械工程材料研究的重要课题, 也是机械设计与制造工程师的一项重要任务。

从应用材料的角度出发, 机械工程师最关心的是材料的力学性能和某些物理、化学性能。材料的性能取决于它的化学成分和内部的组织结构, 而组织结构又与材料的加工工艺密切相关。因此, 对每个零件所选用的材料, 经受的加工工艺, 使用状态下所具有的组织结构, 在规定使用周期内的正常服役状况等, 均与设计者的机械工程材料知识水平有很大的关系。

现代综合性新技术发展的一个重要特点就是需要品种规格多、性能特殊的新材料。因为现代新兴科学技术的发展, 大大促进了新材料技术的进步; 反之, 一种新材料的出现, 往往可导致一系列新技术的突破。例如要提高热机效率势必会升高工作温度, 所以要求制造热机的结构材料在高温环境具有足够的强韧性、抗热性。这是一般钢铁材料无法达到的, 而用新型工程陶瓷材料制成的高温结构陶瓷柴油机, 可节油 30%, 热机效率提高 50%。目前还研制出在 1400℃ 工作的涡轮发动机陶瓷叶片, 大大提高了效率。这说明, 开发新材料可提高现有能源的利用率。又如, 切削刀具是机械制造中的重要工具, 19 世纪 80 年代普遍使用的是合金钢制作的车刀、铣刀, 切削速度一般为 10 m/min; 到 20 世纪 40 年代采用硬质合金, 刀具也改成负前角, 切削速度提高至 60~70 m/min; 而进入 20 世纪 80、90 年代以来, 采用陶瓷刀具, 由氧化铝 (Al_2O_3)、氮化硅 (Si_3N_4) 到立方氮化硼, 切削速度由 200 m/min 提高至 500 m/min; 而刀具实施表面强化技术更是锦上添花, 高速钢表面经 PVD 或 CVD 制成 TiC、TiN 的复合涂层, 可制成形状复杂、精度要求高的耐冲击、耐磨刀具, 使钻头的使用寿命提高 5 倍以上。

未来各种新兴产业的发展, 无不依赖于新材料的进步。像开发海洋用的深潜器及各种海底设施需要耐压、耐蚀的新型结构材料。卫星、宇航设备需要轻质、高强度新材料。医学上制造人工脏器、人造骨骼、人造血管等要用各种具有特殊功能且与人体相容的新材料。

三、面向 21 世纪, 新材料的发展趋势

新材料是指那些新近开发或正在开发的、具有优异性能的材料。新材料是高科技的一部分, 同时它又为高科技服务, 是许多高科技的基础。新材料是多种学科相互交叉和相互渗透的结果, 是大量研究工作的结晶。没有新材料就没有发展高科技的物质基础。掌握新材料是一个国家在科技上处于领先地位的标志之一。因此, 世界各工业发达国家都把新材料的研究与开发列为发展国民经济的重要组成部分。面向 21 世纪, 新材料的发展趋势有下列几方面:

1. 继续重视高性能的新型金属结构材料

所谓高性能材料就是指具有高强度、高韧度、耐高温、耐低温、抗腐蚀、抗辐射等性能的材料, 而新型材料是指采用新技术和新工艺发展的。新型金属材料仍然是 21 世纪的主导材料。

2. 结构材料趋于复合化

由于单一材料存在难以克服的某些缺点, 所以把不同材料进行复合以得到优于原组分的

新材料,就成为结构材料发展的一个重要趋势。

3. 低维材料正扩大应用

低维材料指的是零维如纳米材料,一维如纤维材料,二维如薄膜材料等,这些材料也是近年来发展最快的一类新材料,可用作结构材料和功能材料。

4. 非晶态材料日益受到重视

由于非晶态材料具有合金化程度高、高强度、耐磨、耐腐蚀、良好的磁学性能等,从而具有良好的开发前景。

5. 功能材料迅速发展

由于功能材料是当代新技术中能源技术、空间技术、信息技术和计算机技术的物质基础,所以发展特别迅速。如,梯度功能材料的性能是原来的均质材料和一般复合材料所不具备的,因而有着广泛的应用潜力。

6. 新型材料将实用化

新型材料是通过物性研究、材料设计和精细加工而获得具有高性能和高附加值,体现高新技术水平的一类新材料。由于其性能的飞跃或突破,将为高参数产品提供物质基础,同时也是对传统工业技术改造的主要内容。

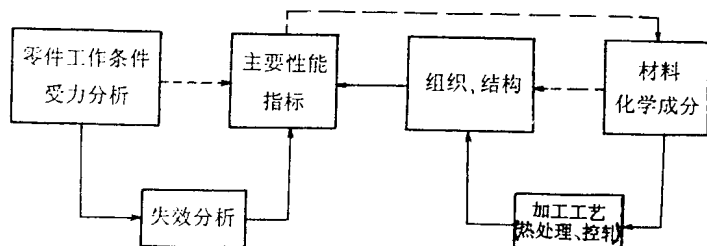
7. 材料的设计及选用计算机化

由于计算机及应用技术的高度发展,使得人们可以按照指定的性能进行材料设计正逐步成为现实。目前已建立起计算机的各种材料性能数据库和计算机辅助选材系统,并进一步向智能化方向发展,从而提高了工程技术的用材水平。

四、《机械工程材料教程》的目的、性质与学习要求

《机械工程材料教程》的主要目的就是研究常用机械工程材料的化学成分(组成)、组织结构、加工工艺与性能之间的相互关系及其变化规律,通过变更材料的化学成分和加工工艺来控制其内部组织结构,以提高材料的性能或创造新性能的材料。

贯穿《机械工程材料教程》的“纲”(红线)就是:



《机械工程材料教程》是以物理、化学、材料力学、金相学、材料加工工艺的教学与实习等为基础的课程,在学习时应联系上述基础课程的有关内容,以加深对本课程的理解;同时本课程又是建立在实验分析基础之上,具有较强理论性而且与工业生产密切相连。因此,要求学生在应学会读书,注重理解、分析与应用,并注意前后知识的综合应用。

本课程的学习要求：

(1) 要把学习的重点放在阅读教材内容上，吃透教材、掌握其精髓；

(2) 在学习中，要及时调整、总结自己的学习方法，努力提高学习效率；

(3) 还要注重主动的学习、提高学习的积极性，变要我学习为我要学习；

(4) 为了提高学生的分析问题、解决问题的独立工作能力，除系统学习课本知识外，还要注意密切联系生产实际，重视实验环节，认真独立完成作业等；

(5) 提倡创新式学习，发挥自己的特长，积极创新，主动参与课堂讨论、课外科技活动小组等交互式双向教学活动，完成从单纯学会到会学的转变。

为此我们还配套编辑出版了《大学生学习方法指南》、《机械工程材料学习指导》等辅助教学资料，以资配合。

第一章 机械工程材料的结构

请带着下列问题学习本章内容

1. 晶体与非晶体材料的本质区别以及各自的特点是什么？
2. 三种典型金属的晶体结构特点以及立方晶系中晶面、晶向指数的表示方法各是什么？
3. 何谓晶体缺陷？按其几何特征，它可分为几类？其主要形式(内容)及对性能的影响又各是什么？
4. 固体材料的相结构可以分为哪两大类？它们的分类与主要性能特点分别是什么？
5. 试简述聚合物与陶瓷材料的结构特点。
6. 熟练地描述纯铁的同素异构转变特性。

材料的性能主要决定于其化学组成和结构。材料的结构系指原子的规则排列状态。若为规则排列则是晶态，若为不规则排列则是非晶态。在绝大多数情况下，晶态结构并不是十分完整的，即在其规则排列中，局部存在着各种缺陷。因此研究机械工程材料的结构，对于生产、加工，使用现有材料和发展新型材料均具有重要的意义。

第一节 固态物质中原子的排列方式

一、固态物质结合键的特性

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(包括氢键)。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。若以四种典型键为顶点作成正四面体(如图 1-1 所示)，则实际固体材料的结合键将位于四面体的体内、面上或棱上，根据其在四面体中位置，可大致估计各种材料结合键的类型及其基本特征。

化学元素中约 80% 为金属。金属材料的结合键主要是金属键，也有共价键(如灰锡)和离子键(如金属化合物 Mg_3Sb_2)。因而金属材料具有特殊光泽，优良的导电、导热性，良好的塑性、强度及其它力学性能等。

聚合物材料的结合键是共价键和分子键，以共价键为主。但由于组成聚合物材料的大分子链很长，所以大分子链之间的作用力(分子键)也就很大，因而亦具有较好的力学性能。

陶瓷材料的结合键是离子键和共价键，大部分材料以离子键为主。所以陶瓷材料有高的熔点和很高的硬度，但脆性较大。

复合材料可以有多种键合机制。

二、原子的排列方式

若忽略材料中的缺陷，则固体材料中原子的排列方式有两大类型，即短程有序排列与长程有序排列。

(一) 短程有序(近程有序)——非晶态结构

所谓短程有序,系指原子仅在很小的范围(约几十个原子的尺度)内呈一定的规则排列,而从大范围来看,则找不到规则排列的规律。例如,聚合物材料——聚乙烯中的短程有序,它系由碳原子链构成,每个碳原子周围有两个氢原子,碳与氢之间为共价键。共价键的方向性使得碳原子、氢原子构成四面体(如图 1-2 所示)。这种四面体单元在空间的随机分布即构成聚合物材料中的大分子链。

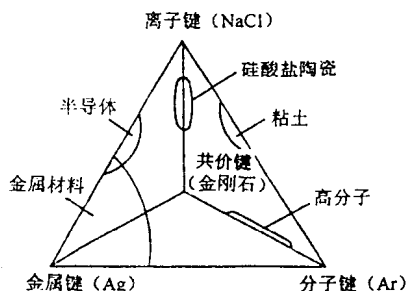


图 1-1 结合键四面体

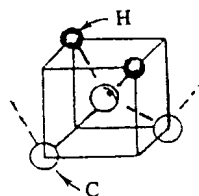


图 1-2 聚乙烯中的短程有序排列

若固体材料中仅存在短程有序,则称其为非晶体材料(或无定形材料)。这种短程有序排列的特征,即称为非晶态结构(或无定形结构)。非晶态结构被认为是“冻结了”的液态结构。即非晶体在整体上是无序的,但原子之间也是靠化学键结合在一起的,所以在有限的小范围内观察,还是有一定的规律性。非晶体材料的共同特点是:

- (1) 结构无序,物理性质表现为各向同性;
- (2) 无固定熔点;
- (3) 导热性和热膨胀性均小;
- (4) 塑性形变大;
- (5) 组成的变化范围大。

从理论上分析,如果抑止晶化固态反应过程,则任何物质均能发生非晶态固化反应,而获得非晶态材料。如纯金属液体在高速冷却($V_{\text{冷却}} > 10^{10} \text{K/s}$)下可得到非晶态金属。从已得到的结果看,非晶态材料具有较高的强度、硬度和抗蚀性能等。

(二) 长程有序——晶体结构

长程有序(远程有序)指的是原子在很大范围内均是按一定规则排列(即原子在三维空间作有规则的周期性重复排列),具有长程有序排列的材料即为晶体材料。这种长程有序排列的特征就称之为晶体结构。晶体材料的特点是:

- (1) 结构有序,物理性质表现为各向异性;
- (2) 具有固定的熔点;
- (3) 晶体的排列状态是由构成原子或分子的几何学形状和键的形式决定的;
- (4) 一般当晶体的外形发生变化时,晶格类型并不改变。