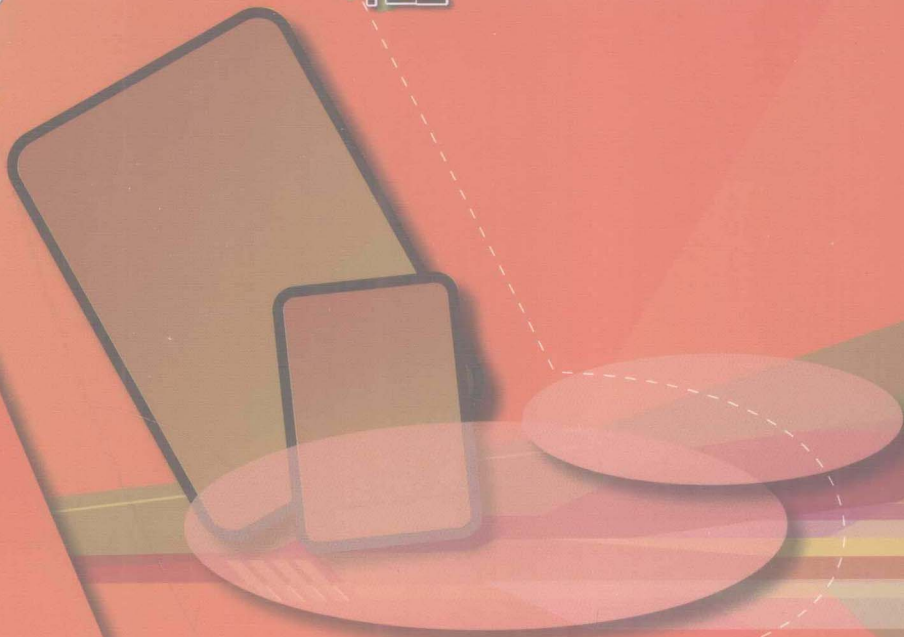




普通高等教育机械类“十二五”规划系列教材



机械制造技术基础 (上册)

JIXIE ZHIZAO JISHU JICHU

周桂莲 高 进 主编



Machinery
manufacturing



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育机械类“十二五”规划系列教材

机械制造技术基础(上册)

周桂莲 高 进 主编

胡心平 宗 云 副主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是省精品课程配套教材,并根据教育部机械基础课程教学指导分委员会有关“工程材料及机械制造基础课程教学改革指南”精神,结合国内外教材的内容和结构特点,以及作者多年来理论和实践教学的经验编写而成。全书共4章,内容包括工程材料、铸造、塑性成形和焊接。在内容编排上,对目前仍在广泛应用的常规工艺进行精选和保留,对过时的内容予以淘汰,增加了技术上较为成熟、应用范围较宽或发展前景看好的“三新”(即新材料、新技术、新工艺)内容。同时,配有与教材内容一致的电子课件和书中所有插图,以供授课教师参考。

本书可作为普通高等院校不同专业、不同学时的机械类、近机类各专业教材,也可作为高职工工院校及材料科学与工程及机械制造工程专业技术人员的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容
版权所有·侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术基础·上册/周桂莲,高进主编. —北京:电子工业出版社,2011.3

普通高等教育机械类“十二五”规划系列教材

ISBN 978-7-121-12722-9

I. ①机… II. ①周… ②高… III. ①机械制造工艺—高等学校—教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第261162号

策划编辑:余 义

责任编辑:余 义

印 刷:北京东光印刷厂

装 订:三河市皇庄路通装订厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:11 字数:296千字

印 次:2011年3月第1次印刷

印 数:4000册 定价:24.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

本书根据教育部机械基础课程教学指导分委员会有关“工程材料及机械制造基础课程教学改革指南”精神,结合大工程背景下机械制造学科的快速发展趋势与高等教育的改革现状,以国家教育部本科课程改革指南为指导,由青岛科技大学、山东轻工业学院、山东科技大学、山东建筑大学、佳木斯大学、青岛农业大学、潍坊职业学院等高校长期从事基础课程教学和工程训练教学的具有丰富理论及实践教学经验的教师,以科学性、先进性、系统性、实用性为目标编写而成。本书尤其注重对学生解决工程技术问题的实践能力、综合素质及创新能力的培养。

本书建立在原金属工艺学基础上,力图把传统与先进的制造工艺基础联系在一起,内容涉及工程材料、材料成形、机械加工基础知识、金属切削加工方法与设备、典型表面加工方法的分析、机械加工工艺过程的基础知识以及先进制造技术,具备了基础性、实践性、趣味性和跨学科的知识结构。同时,在内容编排上,对目前仍在广泛应用的常规工艺进行精选和保留,对过时的内容予以淘汰,并增加了技术上较为成熟、应用范围较广或发展前景看好的“三新”

(即新材料、新技术、新工艺)内容,既体现了常规制造技术与现代制造技术、材料科学和现代信息技术的密切交叉与融合,也体现了制造技术的历史传承和未来发展趋势,为学生的进一步学习及今后从事机械产品设计和加工制造方面的工作奠定基础。同时,本书还配有电子课件和书中所有插图,可通过yuy@phei.com.cn或华信教育资源网进行申请。

本书既是机类各专业学习现代制造技术的专业基础教材,也是理、工、文、医、经、管、艺术等不同学科快速获取工业知识的特色基础教材。本书可作为高等院校不同专业、不同学时的机械类、近机类等专业的教科书,也可作为高职工科院校及机械制造工程技术人员的参考书。

本书的内容具有一定的灵活性,在保证教学基本要求的前提下,各院校在教学安排时可结合自己学校的情况来决定学时数。

全书分上、下两册,上册由周桂莲教授、高进教授主编,胡心平、宗云副主编,孙士斌、曹芳、刘宏、孙静、许丹、孙爱芹、田俊锋参编。上册共分4章,主要内容有工程材料、铸造、塑性成形、焊接等。下册由周桂莲教授主编,杨化林、王冬、崔铭铎副主编,孙静、庄殿霞、周建强、田俊锋参编。下册共分6章,主要内容有机械制造基础知识、切削原理与刀具、金属切削加工方法与设备、典型表面加工方法的分析、制造工艺基础与夹具、先进制造技术等。每章后面均有小结、习题或综合实训练习,以供学生自学或思考。全书由周桂莲、高进统稿。

由于编者水平所限,书中难免有不当之处,诚请广大读者提出宝贵意见,编者邮箱为kdzgl@126.com或gaoj@sdili.edu.cn。

编 者

目 录

第 1 章 工程材料	(1)
1.1 概述	(1)
1.1.1 工程材料的分类	(2)
1.1.2 材料的结合方式	(3)
1.1.3 金属的晶体结构	(5)
1.1.4 金属的结晶	(8)
1.2 工程材料的力学性能	(10)
1.2.1 静载时材料的力学性能	(10)
1.2.2 其他载荷作用下材料的力学性能	(14)
1.2.3 材料的高、低温力学性能	(17)
1.3 二元合金与铁碳合金相图	(17)
1.3.1 合金的相结构	(17)
1.3.2 二元合金相图	(20)
1.3.3 合金的性能与相图的关系	(25)
1.3.4 铁碳合金平衡相图	(26)
1.4 钢的热处理	(32)
1.4.1 钢在加热时的转变	(32)
1.4.2 钢在冷却时的转变	(35)
1.4.3 钢的普通热处理	(38)
1.4.4 钢的表面淬火	(42)
1.4.5 钢的化学热处理	(43)
1.4.6 钢的表面改性技术	(46)
1.5 金属材料	(48)
1.5.1 工业用钢	(48)
1.5.2 铸铁	(55)
1.5.3 有色金属及其合金	(59)
1.6 非金属材料	(63)
1.6.1 高分子材料	(63)
1.6.2 陶瓷材料	(66)
1.6.3 复合材料	(68)
本章小结	(71)
复习思考题	(71)
第 2 章 铸造	(73)
2.1 铸造理论基础	(73)

2.1.1	金属的凝固	(73)
2.1.2	金属与合金的铸造性能	(75)
2.1.3	铸造性能对铸件质量的影响	(77)
2.2	砂型铸造	(79)
2.2.1	手工造型	(80)
2.2.2	机器造型	(81)
2.3	特种铸造	(81)
2.3.1	熔模铸造	(81)
2.3.2	金属型铸造	(83)
2.3.3	压力铸造	(84)
2.3.4	低压铸造	(85)
2.3.5	离心铸造	(86)
2.3.6	消失模铸造	(87)
2.4	铸造工艺设计	(88)
2.4.1	浇注位置的选择	(89)
2.4.2	铸型分型面的选择	(90)
2.4.3	铸造工艺参数确定	(91)
2.4.4	铸造工艺简图绘制	(93)
2.5	铸件的结构工艺性	(96)
2.5.1	铸造合金性能的影响	(97)
2.5.2	铸造工艺的影响	(99)
2.5.3	铸造方法的影响	(101)
2.6	铸造成形新发展	(104)
2.6.1	造型技术的新发展	(104)
2.6.2	计算机技术推动铸造的新发展	(108)
	本章小结	(111)
	复习思考题	(112)
	综合实训	(112)
	第3章 塑性成形	(113)
3.1	塑性成形理论基础	(113)
3.1.1	金属的塑性成形	(113)
3.1.2	金属的锻造性能	(116)
3.2	金属的加热与锻件的冷却	(117)
3.2.1	金属的加热	(117)
3.2.2	锻件的冷却方式	(120)
3.3	结构的离散化	(120)
3.3.1	锻造	(120)
3.3.2	板料冲压	(125)
3.3.3	其他塑性加工方法	(130)
3.4	塑性成形工艺设计	(132)

3.4.1	自由锻工艺规程的制订	(132)
3.4.2	模锻工艺规程的制订	(133)
3.5	塑性加工方法的结构工艺性	(136)
3.5.1	自由锻件的结构工艺性	(136)
3.5.2	模锻件的结构工艺性	(137)
3.5.3	板料冲压件的结构工艺性	(138)
3.6	塑性成形新发展	(140)
3.6.1	精密模锻	(140)
3.6.2	摆动辗压	(140)
3.6.3	液态模锻	(140)
3.6.4	超塑性成形	(141)
3.6.5	高速高能成形	(141)
本章小结		(141)
复习思考题		(142)
综合实训		(142)

第4章 焊接

4.1	焊接理论基础	(143)
4.1.1	熔焊冶金过程	(143)
4.1.2	熔焊接头金属组织与性能的变化	(143)
4.1.3	金属的焊接性能	(145)
4.1.4	焊接应力与变形	(146)
4.2	焊接方法	(147)
4.2.1	电弧焊	(148)
4.2.2	压焊	(153)
4.2.3	钎焊	(155)
4.2.4	其他常用焊接方法	(155)
4.3	焊接结构工艺设计	(156)
4.3.1	焊件的选材原则	(156)
4.3.2	焊接方法的选择	(157)
4.3.3	焊件的结构工艺性	(158)
4.3.4	焊接实例	(160)
4.3.5	焊接缺陷及检验	(161)
4.4	焊接技术新发展	(163)
4.4.1	计算机技术在焊接中的应用	(163)
4.4.2	焊接机器人	(163)
4.4.3	先进无损检测技术	(163)
本章小结		(164)
复习思考题		(164)
综合实训		(165)

参考文献

第1章

工程材料

材料是人类赖以生存和发展的物质基础，是科技进步的核心。无论是人们日常生活用具的发展，还是在能源、通信、多媒体、计算机、建筑及交通等领域中所取得的举世瞩目的进步，都离不开工程材料的重要作用。20 世纪 70 年代，人们把信息、材料和能源誉为当代文明的三大支柱。20 世纪 80 年代，以高技术群为代表的新技术革命，又把新材料、信息技术和生物技术并列为新技术革命的重要标志。材料与国民经济建设、国防建设和人民生活密切相关，先进的材料和加工工艺已经成为改善人类生活质量、提高工业生产率以及促进经济发展的基本保证。同时，材料科学的发展和应用也成为处理诸如环境污染、自然资源的不断减少和价格膨胀等一些紧迫问题的重要因素。

1.1 概述

材料是人类用于制造物品、器件、构件、机器或其他产品的物质。自从人类一出现就开始使用材料，材料的历史与人类的历史一样久远。人类为了生存和生产，总是不断地探索、寻找制造生产工具的材料，材料是人类进化的标志之一。在人类历史中，技术上的重大突破都是与新材料的发展及加工相联系的，任何工程技术都离不开材料的设计和制造工艺。例如，没有专门为喷气发动机设计的材料，就没有靠飞机旅行的今天；没有固体微电子电路，就没有广泛使用的计算机。一种新材料的出现，必将支持和促进当时文明的发展和技术的进步，从而把人类社会和物质文明推向一个新的阶段。在人类文明的进程中，根据人类使用的材料，划分出旧石器时代、新石器时代、青铜器时代和铁器时代。当今，人类正跨入人工合成材料和复合材料的新时代。

在人类的发展史上，我们的祖先有过辉煌的成就，对材料的发展作出了重大的贡献。二三百万年前，最先使用的工具是石器，他们用坚硬的容易纵裂成薄片的燧石和石英石等天然材料制成石刀、石斧和石锄。到了新石器时代（公元前 6000 年～公元前 5000 年），中华民族的祖先们用黏土烧制成陶器，东汉时期又发明了瓷器，并于公元 9 世纪传到非洲东部和阿拉伯国家，公元 13 世纪传到日本，公元 15 世纪传到欧洲。瓷器成为中国文化的象征，对世界文明产生了极大的影响。早在 4000 年前，我们的祖先已经开始使用天然存在的红铜，自夏朝起我国开始青铜的冶炼，到殷、西周时期已发展到很高的水平，形成了灿烂的青铜文化。当时青铜主要用于制造各种工具、食器和兵器。在河南省安阳市出土的重达 875 kg 的司母戊鼎(如图1-1所示)，其器型高大厚重，花纹精巧，造型精美，工艺高超，是商朝青铜器的代表作，也是目前世界上发现的最大的青铜器；湖北江陵楚墓中发现的埋藏了

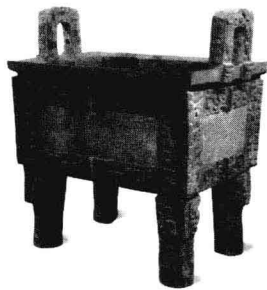


图 1-1 司母戊鼎

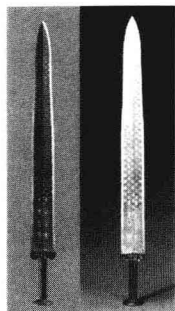


图 1-2 越王勾践宝剑

2000 多年的越王勾践的宝剑(如图 1-2 所示), 锋芒犀利, 寒光闪闪, 出土时插在漆木鞘里, 保存如新, 这说明我国当时已具备高超的冶炼技术和艺术造诣。公元前 7 世纪至公元前 6 世纪的春秋战国时期, 我国开始大量使用铁器, 白口铸铁、麻口铸铁和可锻铸铁相继出现, 比欧洲国家早 1800 多年。

许多史书和出土文物证明, 早在 2000 多年以前, 我国就开始采用热处理技术来提高钢铁材料的性能。西汉《史记·天官书》中有“水与火合为淬”一说, 正确地说出了钢铁加热、水冷的淬火热处理工艺要点;《汉书·王褒传》中记载有“巧冶铸干将之朴, 清水淬其锋”的制剑技术, 热处理技术已具有相当高的水平;明代科学家宋应星在《天工开物》一书中对钢铁的退火、淬火、渗碳工艺, 以及冶铁、铸钟、锻铁、焊接等多种金属成形及改性方法和日用品的生产经验进行了详细的论述, 并附有 123 幅工艺流程插图, 是世界上有关金属加工工艺最早的科学论著之一。

新中国成立后, 我国在工农业生产迅速发展的同时, 作为物质基础的材料工业也得到了高速发展, 取得了举世瞩目的成就。1949 年全国钢产量只有 15.8 万吨, 不到世界钢产量的千分之一。1996 年我国钢产量首次超过 1 亿吨, 成为世界第一产钢大国。20 世纪 90 年代以来, 国家又相继提出重点加强能源原材料等基础产业, 振兴机械、电子、汽车等支柱产业, 加快振兴装备制造业的战略构想。目前, 我国钢铁产业规模快速扩大, 产品品种优化, 质量明显改善; 技术装备水平大幅提升, 装备国产化率显著提高, 中国钢铁业在世界钢铁业已具有举足轻重的地位。有色金属产量实现了持续增长, 2008 年 10 种有色金属产量为 2519 万吨, 连续 7 年居世界第一。我国是世界最大的稀土资源生产、应用和出口国, 在国际市场上处于支配和主导地位, 我国稀土矿产品产量 12.5 万吨, 冶炼分离产品、稀土永磁材料、发光材料、储氢材料均居世界第一位。近年来, 我国取得了载人航天、月球探测工程等伟大成就, CPU 等芯片的研发取得了突破, 高性能计算机和服务器的开发获得了成功, 工业产品质量总体水平跃上了一个新台阶, 机械工业主要产品中约有 35%~40% 的产品质量已经接近或达到国际先进水平, 基础元器件和高新技术产品与国际先进水平的差距不断缩小, 这些成果的产生都是与材料科学与工程技术的支 持分不开的。随着近代科学技术的发展, 对工程材料的要求也越来越高, 因此作为工程技术人员, 应掌握更加广泛的有关各种工程材料的知识。

1.1.1 工程材料的分类

1. 根据材料的物理化学属性来分类

根据材料的物理化学属性来分类, 工程材料可分为金属材料、非金属材料和复合材料。

1) 金属材料

由于金属材料不仅来源丰富, 而且还具有优良的使用性能和工艺性能, 因此它是目前应用最广泛的工程材料。金属材料又可以分为如下两类。

(1) 黑色金属。黑色金属是指铁和以铁为基的合金材料, 即钢铁材料, 包括铸铁、碳钢和合金钢。

(2) 有色金属。有色金属是指除了黑色金属以外的所有金属及其合金材料, 包括轻有色金属(如铝、镁等)、重有色金属(如铜、铅等)、稀有金属及稀土等。

2) 非金属材料

非金属材料近几十年来发展很快。目前,非金属材料不仅用来制造人们的生活用品,而且在工业生产中已经代替了部分金属材料,成为具有广泛发展前景的材料。非金属材料包括高分子材料和陶瓷材料两大类。

(1) 高分子材料。高分子材料是以高分子化合物为主要组分材料。机械工程中使用的高分子材料主要是由人工合成的有机高分子聚合物,包括塑料、合成橡胶、合成纤维等。

(2) 陶瓷材料。陶瓷材料按照原料不同可以分为普通陶瓷(即传统的硅酸盐陶瓷,如玻璃、水泥、陶瓷及耐火材料等)和特种陶瓷(即新型陶瓷,除了 SiO_2 之外的其他氧化物、碳化物、氮化物材料)。

3) 复合材料

复合材料是一种新型的、具有很大发展前途的工程材料,它是由两种或两种以上不同化学成分或不同组织结构的物质,经人工合成获得的多相材料。

2. 根据用途来分类

根据用途来分类,工程材料可分为建筑工程材料、船舶工程材料、桥梁工程材料等。

3. 根据性能要求来分类

根据性能要求来分类,工程材料可分为结构材料与功能材料。

1) 结构材料。结构材料是以力学性能为基础,用于制造受力构件所用的材料。当然,结构材料对物理或化学性能也有一定要求,如光泽、热导率、抗辐照、抗腐蚀、抗氧化等。

2) 功能材料。功能材料主要是利用物质的独特物理、化学性质或生物功能等而形成的一类材料。

一种材料往往既是结构材料又是功能材料,如铁、铜、铝等。

4. 根据材料使用时间来分类

根据材料使用时间来分类,工程材料可分为传统材料与新型材料。

1) 传统材料。传统材料是指那些已经成熟且在工业中已批量生产并大量应用的材料,如钢铁、水泥、塑料等。这类材料由于其用量大、产值高、涉及面广,又是很多支柱产业的基础,所以又称为基础材料。

2) 新型材料(先进材料)。新型材料是指那些正在发展的且具有优异性能和应用前景的一类材料。

新型材料与传统材料之间并没有明显的界限。传统材料通过采用新技术,提高技术含量,提高性能,大幅度增加附加值也有可能成为新型材料;新材料在经过长期生产与应用之后也会成为传统材料。传统材料是发展新材料和高技术的基础,而新型材料又往往能推动传统材料进一步的发展。

1.1.2 材料的结合方式

1. 化学键

物质都是由原子组成的,原子又是由电子、质子和中子构成的。在临近的原子和原子群之间存在着力的作用,这种相邻原子(或分子、离子)间强烈的相互作用称为化学键。原子通过键的形成而结合在一起,形成的键也具有不同的特性。键的特性决定了物理、力学及化学方面的特性,因此化学键对物质的性质有重大的影响。物质的化学键主要有离子键、共价键、金属键和分子键。

1) 离子键

当两种电负性相差大的原子(如碱金属元素与卤族元素的原子)相互靠近时,电负性小的原子失去电子成为正离子,电负性大的原子获得电子而成为负离子,两种离子由静电引力而结合在一起形成离子键。这种键涉及由正电性原子向负电性原子的电子转移。原子间的高电负性差值有利于离子键的形成。活泼金属如钾、钠、钙等跟活泼非金属如氯、溴等化合时,都能形成离子键。离子键的特点是无方向性和无饱和性。离子键很强,故材料有较高熔点,固体状态时不导电,熔融时才导电。若离子间发生相对位移,电平衡就会被破坏,离子键也被破坏,从而形成脆性材料。日常生活中的食盐(学名“氯化钠”, NaCl)是由钠离子(Na^+)与氯离子(Cl^-)组成的,如图1-3所示。

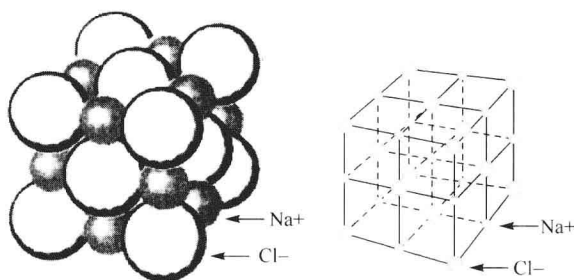


图 1-3 NaCl 晶体结构

2) 共价键

当两个相同原子或者性质相差不大的原子相互靠近时,原子间借共用电子对所产生的力而结合,这种共用电子对而形成的化学键称为共价键。这种键原子间不会产生电子转移。在外力作用下,原子一旦发生位移,共价键就会被破坏,形成脆性材料。为使电子运动产生电流,必须破坏共价键,就需要加高温、高压,因此共价键材料具有很好的绝缘性。共价键存在于 IVA、VA、VIA 族中大多数元素或电负性相差不大的原子间,如金刚石、单晶硅、 SiC 等。金刚石中碳原子间的共价键非常牢固,其熔点高达 3750°C ,是自然界中最坚硬的固体。

3) 金属键

绝大多数金属元素是以金属键结合的。由金属正离子和自由电子之间相互作用而结合的键称为金属键。根据金属键的结合特点可以解释金属材料的特有性能。在外力作用下,金属发生塑性变形,晶体中原子发生相对位移后,金属键的结合仍然保持,因此金属表现出良好的塑性;金属中的自由电子在外电场作用下,会沿着电场方向做定向运动,形成电流,从而显示出良好的导电性;金属中正离子是以某一个固定位置为中心做热运动的,因此对自由电子的流通就有阻碍作用,这就是金属具有电阻的原因。随着温度的升高,正离子振动的振幅加大,对自由电子的阻碍作用也加大,即金属的电阻是随着温度的升高而增大的,具有正的电阻温度系数。由于自由电子的运动和正离子的振动都可以传递热能,因而金属具有良好的导热性。因为金属晶体中的自由电子能吸收可见光的能量跃迁到高能级,故金属具有不透明性;而当电子重新跳回到原来低能级时,所吸收的可见光的能量就以电磁波的形式辐射出来,在宏观上就表现为金属的光泽。

4) 分子键

分子键又称为范德瓦耳斯键,是最弱的一种结合键。由于原子各自内部的电子不均匀分布产生了较弱的静电引力,称为范德瓦耳斯力。由这种分子力结合起来的键称为分子键。分子晶体因其结合键能很低,所以其熔点很低。金属与合金这种键不多,聚合物通常链内是共价键,而链与链之间是范德瓦耳斯键。

2. 工程材料的键性

在实际的工程材料中,原子(或离子、分子)间相互作用的性质,只有少数是这四种键型的极端情况,大多数是这四种键型的过渡。如果以四种键为顶点绘制一个四面体,把工程材料的结合键范围示意在四面体上,如图1-4所示,就可以从四面体上根据键性估计出材料的性能。

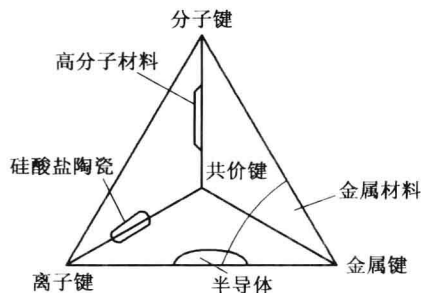


图 1-4 工程材料的键性

1.1.3 金属的晶体结构

1. 金属的理想晶体结构

1) 晶体和非晶体

根据原子(或分子)的聚集状态,将固态物质分为两大类:晶体和非晶体。晶体是原子(或分子)在三维空间进行有规律的周期性重复排列所形成的物质;而在非晶体中,原子(或分子)是在三维空间无规则地堆积在一起的。自然界中,绝大多数固态金属和合金都是晶体,而只有少数物质如普通玻璃、沥青、石蜡等是非晶体。

由于晶体与非晶体的原子(或分子)排列方式不同,导致其性能上存在较大差异。首先,晶体具有固定的熔点,而非晶体则没有。熔点是晶体物质的结晶状态与非结晶状态互相转变的临界温度。对于晶体而言,其熔点是一个恒定值,如铁的熔点为 1538°C ,铜的熔点为 1083°C ,铝的熔点为 660°C 。固态非晶体则是液体冷却时,尚未转变为晶体就凝固了,它实质上是一种过冷的液体结构,往往称为玻璃体,故液-固之间的转变温度不固定。其次,晶体的某些

物理性能和力学性能在不同方向上具有不同的数值,即表现出晶体的各向异性;而非晶体物质在各个方向上的原子聚集密度大致相同,因此表现出各向同性。

应当指出,物质在不同条件下,既可形成晶体结构,又可形成非晶体结构,晶体和非晶体在一定条件下是可以互相转化的,如玻璃在高温长时间加热条件下可以转变为晶态玻璃,如图1-5所示。

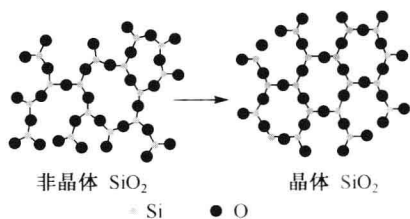


图 1-5 非晶体和晶体的转化

2) 晶体的基本概念

晶体中的原子是周期性有规则地排列的,如图1-6(a)所示。为了便于理解和描述晶体中原子排列的情况,可以近似地把晶体中的原子看成固定不动的刚性小球,并用一些假想的几何线条把晶体中各原子的中心连接起来,构成一个空间格架。各原子的中心就处在格架的各个结点上,这种抽象的、用于描述原子在晶体中排列形式的几何空间格架,简称晶格,如图1-6(b)所示。为了便于分析晶体中原子排列的规律,通常取出晶格中一个最小的几何单元来描述晶体构造,它能够完全反映出晶格的特征,这个组成晶格的最基本的几何单元就称为晶胞,如图1-6(c)所示。实际上,整个晶格就是由许多大小、形状和位向相同的晶胞在空间重复堆积而成的。晶胞的各棱边长度为晶格常数。在晶格中由一系列原子组成的平面称为晶面,而晶面又是由一行行的原子列组成的,晶格中各原子列的位向称为晶向。

3) 金属中常见的晶格

在工业上常用的金属中,除了少数具有复杂的晶体结构外,绝大多数金属都具有比较简单的晶体结构,其中最常见金属晶体结构(晶格类型)有体心立方晶格(bcc)、面心立方晶格(fcc)和密排六方晶格(hcp)三种类型。

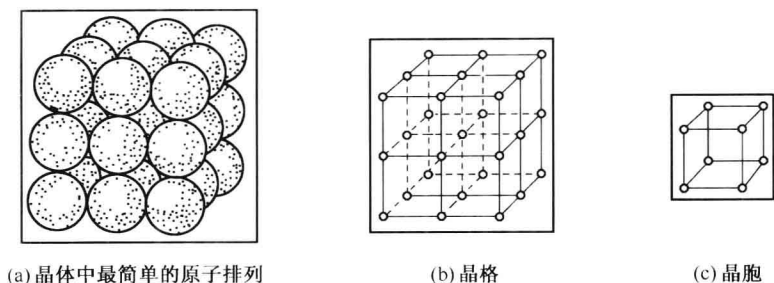


图 1-6 晶体结构示意图

(1) 体心立方晶格

体心立方晶格的晶胞如图 1-7(a)所示。它是一个立方体，在立方体的八个顶角上和立方体中心各有一个原子。晶胞角上的原子为相邻的八个晶胞所共有，每个晶胞实际上只占有 $1/8$ 个原子，而中心的原子为该晶胞所独有。具有体心立方晶格的金属有铬、钨、钼、钒和 912°C 以下的铁等。

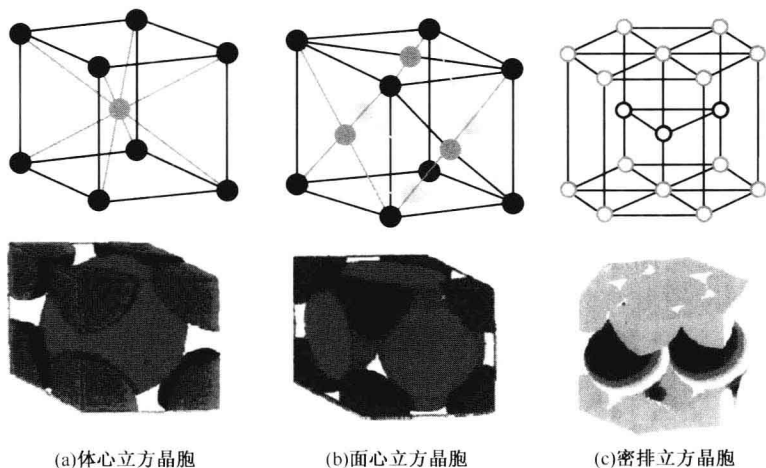


图 1-7 典型晶胞

(2) 面心立方晶格

面心立方晶格的晶胞如图 1-7(b)所示。它同样是一个立方体，在立方体的八个顶角上和立方体六个面的中心各有一个原子。晶胞角上的原子为相邻的八个晶胞所共有，每个晶胞实际上只占有 $1/8$ 个原子，而每个面中心的原子为两个晶胞所共有，每个晶胞实际上占有 $1/2$ 个原子。具有面心立方晶格的金属有铝、铜、镍、铅、金、银和 $912\sim 1394^{\circ}\text{C}$ 的铁等。

(3) 密排立方晶格

密排立方晶格的晶胞如图 1-7(c)所示。它是一个六棱柱体，由六个呈长方形的侧面和两个呈六角形的底面所组成，在上下六角形面的顶角上和面的中心各有一个原子，在六棱柱体中间还有三个原子。晶胞角上的原子为相邻的六个晶胞所共有，上下底面中心的原子为两个晶胞所共有，晶胞中三个原子为该晶胞所独有。具有密排立方晶格的金属有镁、锌、铍、镉等。

2. 金属的实际晶体结构

实际工程中使用的金属材料，是由很多小的单晶体组成的。每个外形不规则的颗粒状单晶体称为晶粒，许多晶粒组成多晶体。晶粒与晶粒之间的交界称为晶界，如图 1-8(a)所示。晶粒内部是由位向差很小的称为镶嵌块的小晶块所组成的，称为亚晶粒，亚晶粒的交界称为亚晶界，如图 1-8(b)所示。

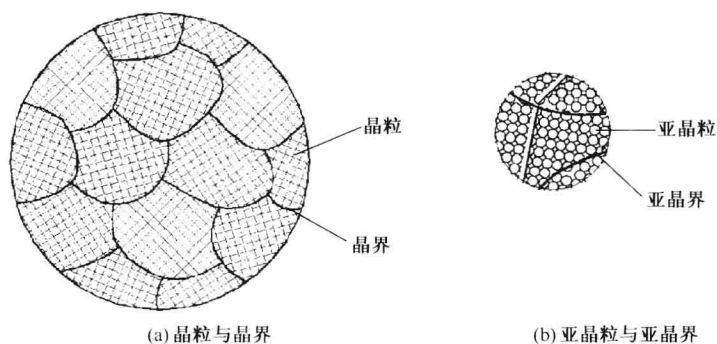


图 1-8 多晶体

实际上,在晶粒内部某些局部区域,原子的排列往往会受到干扰而被破坏,不能呈现理想的规则排列,通常把这种区域称为晶体缺陷。晶体缺陷对金属的性能影响很大。根据晶体缺陷的几何形态特征,可以将其分为点缺陷、线缺陷和面缺陷三种类型。

1) 点缺陷——空位和间隙原子

在实际晶体结构中,晶格的某些结点并未被原子占据,这种空着的位置称为空位。同时,有可能在个别晶格间隙中出现了多余的原子,这种没有占有正常的晶格位置,而出现在晶格间隙之间的原子称为间隙原子。晶体中空位和间隙原子如图1-9所示。

在空位和间隙原子附近,由于原子间作用力的平衡被破坏,使周围原子发生靠拢或撑开而产生晶格畸变。晶格畸变将使晶体性能发生改变,使金属的强度、硬度、电阻增加,塑性下降。

2) 线缺陷——位错

在晶体中有一列或若干列原子发生了有规律的错排现象,称为位错。位错有许多类型,常见的一种是刃型位错,它是晶体的一部分相对另一部分出现一个多余的原子面的现象,如图1-10所示。

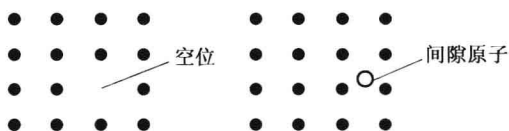


图 1-9 空位和间隙原子

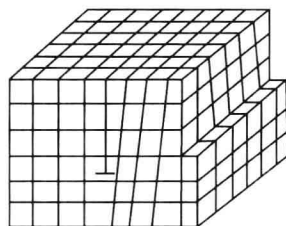


图 1-10 刃型位错

金属中位错数量很多,位错密度的变化及位错在晶体内的运动,都会对金属的性能、塑性变形及组织转变等产生重要的影响。

3) 面缺陷——晶界和亚晶界

金属多晶体中存在的晶界和亚晶界属于面缺陷。面缺陷可以提高金属材料的力学性能,晶粒越细小,晶界越多,它对塑性变形的阻碍作用就越大,金属的强度、硬度也就越高。

3. 合金的晶体结构

合金是由两种或两种以上的金属元素或金属元素与非金属元素组成的具有金属特性的物质,如黄铜是由铜和锌两种元素组成的合金。工业生产中使用的金属材料主要为合金。组成合金的最基本的、独立的物质称为组元。由两个组元构成的合金,称为二元合金,如铁碳合金。

合金中具有同一化学成分且结构相同,并有界面与其他部分分开的均匀部分称为相。合

金的性能一般就是由组成合金的各种相的成分、结构、形态、性能和各相的组织情况所决定的。固态合金的相结构可分为固溶体和金属化合物两大类:

1) 固溶体

合金在固态下, 组元间仍能互相溶解而形成的均匀相称为固溶体。形成固溶体后, 晶格保持不变的组元称为溶剂, 晶格消失的组元称为溶质。固溶体的晶格类型与溶剂组元相同。固溶体可分为以下两类。

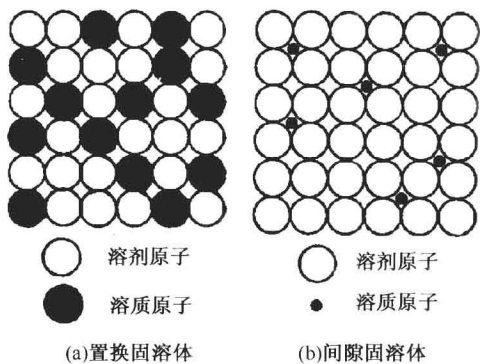


图 1-11 固溶体类型

(1) 置换固溶体。当溶质原子代替一部分溶剂原子而占据着溶剂晶格中的某些结点位置时, 所形成的固溶体称为置换固溶体, 如图1-11(a)所示。

(2) 间隙固溶体。若溶质原子在溶剂晶格中并不占据结点的位置, 而是处于各结点间的空隙中, 则这种形式的固溶体称为间隙固溶体, 如图 1-11(b) 所示。

固溶体中由于溶质原子的溶入, 使其晶格发生了畸变。晶格畸变导致固溶体的变形抗力增大, 使金属的强度和硬度升高, 这种现象称为固溶强化。

固溶强化是提高金属材料力学性能的重要途径之一。实践证明, 当使溶质的质量分数适当时, 固溶体不仅有着较纯金属高的强度和硬度, 而且仍能保持着好的塑性和韧性。

2) 金属化合物

金属化合物是两组元相互作用化合形成的新相, 具有复杂的晶体结构。金属化合物的晶格类型与组成化合物各组元的晶格类型完全不同, 性能差别也很大, 最常见的是铁和碳的化合物, 如 Fe_3C 。

当金属化合物呈细小颗粒均匀分布在固溶体基体上时, 将使合金的强度、硬度和耐磨性明显提高, 这种现象称为弥散强化。弥散强化是各类合金钢及非铁金属的重要强化方法。因此, 金属化合物在合金中常作为强化相存在, 它是许多合金钢、有色金属和硬质合金的重要组成部分。

1.1.4 金属的结晶

结晶是金属与合金从液态冷却转变为固态的过程。从微观上看, 是原子从不规则排列状态结构逐步过渡到规则排列结构的过程。

1. 纯金属的冷却曲线和过冷现象

纯金属液体在无限缓慢的冷却条件下结晶的温度称为理论结晶温度, 用 T_0 表示。在实际生产中, 金属结晶时的冷却速度是比较快的, 此时液态金属将在理论结晶温度以下某一温度 T_n 才开始结晶。金属的实际结晶温度 T_n 低于理论结晶温度 T_0 的现象, 称为过冷现象。理论结晶温度与实际结晶温度的差 ΔT 称为过冷度, 即过冷度 $\Delta T = T_0 - T_n$, 如图1-12所示。

实际上金属总是在过冷的情况下结晶的, 但同一

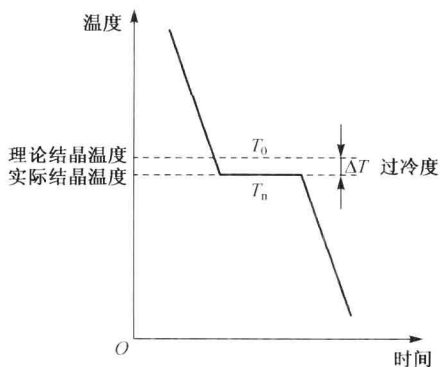


图 1-12 纯金属结晶时的冷却曲线

金属结晶时的“过冷度”不是一个恒定值，它与冷却速度有关。结晶时冷却速度越大，过冷度就越大，即金属的实际结晶温度就越低。

2. 纯金属的结晶过程

纯金属的结晶过程是不断形成晶核和晶核不断成长的过程，如图1-13所示。

当结晶温度低于理论结晶温度时，液态金属中原本存在着的许多类似于晶体中原子有规则排列的一部分小集团就成为稳定的结晶核心，称为形核。随着温度的降低，已形成的晶核不断成长，同时液态金属中又会不断地产生新的晶核并不断成长。晶核会长大至液态金属全部消失，晶体彼此相互接触为止。晶核的长大方式也有两种：平面长大（垂直最密面长大速度慢，其他方向速度快）和树枝状长大（在晶核尖角处优先生长）。因此，一般纯金属是由许多晶核长成的外形不规则的晶粒和晶界组成的多晶体。

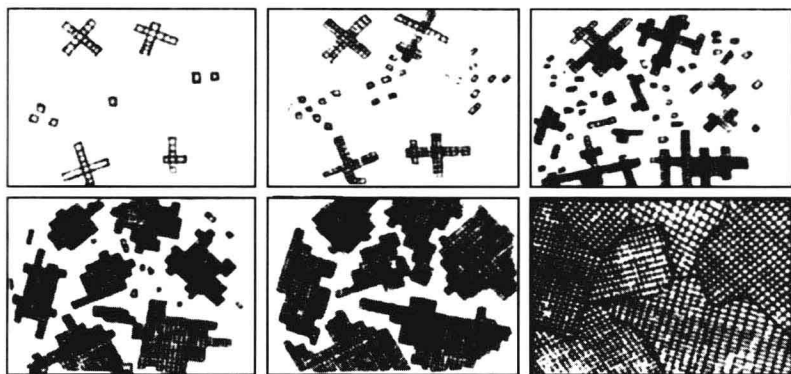


图 1-13 金属结晶过程示意图

3. 金属晶粒大小及控制

金属结晶后的晶粒大小可用单位体积内晶粒的数目来表示，数目越多，晶粒越小。实验证明，晶粒大小对金属的机械性能、物理性能及化学性能均有很大影响。一般情况下，晶粒越细小，金属的强度就越高，塑性和韧性也越好，这种现象称为细晶强化。

金属结晶过程由晶核形成和晶核不断长大两个基本过程组成。结晶后晶粒的大小与形核率(N)和晶核生长速率(G)两个因素有关。金属结晶后单位体积中晶粒的数目 Z 与结晶时的形核率 N 和晶核生长速率 G 之间存在着以下关系：

$$Z \propto \sqrt{\frac{N}{G}}$$

当晶核生长速率(G)一定时，晶核形核率(N)越大，晶粒数目就越多，即晶粒越细。当形核率一定时，生长速率越大，晶粒数目就越少，即晶粒越粗。因此，要控制金属结晶后晶粒的大小，必须控制晶核形核率 N 与生长速率 G 这两个因素。其主要途径有如下三种。

- 1) 增加过冷度。增加过冷度会使晶核形核率 N 大于晶粒生长速率 G ，从而使晶粒细化。
- 2) 变质处理。在液态金属结晶前，加入一些细小的变质剂，增加金属结晶时的非自发晶核并降低生长速率 G ，这种细化晶粒的方法，称为变质处理。此法广泛用于工业生产中。
- 3) 附加振动。金属结晶时，对液态金属附加机械振动、超声波振动、电磁振动等措施，促使液态金属在铸模中运动加速，造成枝晶破碎，可以使已成长的晶粒因破碎而细化，达到晶粒细化的目的。

1.2 工程材料的力学性能

在机械制造中,一般机械零件是在常温、常压下使用。但有一些机械零件却要在高温、高压和腐蚀介质中使用,如化工机械,石油机械和锅炉中的容器、管道等。生产者往往需要根据零件不同的使用要求,确定采用不同性能的材料。

工程材料的常用性能可分为两类:使用性能和工艺性能。使用性能是指机械零件在正常工作情况下,能保证安全、可靠工作所应具备的性能,包括材料的力学性能(机械性能)和物理、化学性能等。工艺性能是指机械零件在冷、热加工制造过程中应具备的性能,它包括加工性能(切削性能、锻造性能等)、铸造性能、焊接性能和热处理性能。这些性能的好坏直接关系到材料在冷、热加工过程中的难易程度、制件的质量和成本。使用性能决定了材料的使用范围和寿命,对绝大多数工程材料来讲,其力学性能是最重要的使用性能。

力学性能是金属材料在各种形式的力的作用下所表现出的特性,显示了材料抵抗外力的能力,即金属抵抗外加载荷引起的变形和断裂的能力。

材料的力学性能是在实验室内利用不同的试验方法确定的。衡量材料力学性能的主要指标有强度、塑性、刚度、弹性、硬度、疲劳强度、冲击韧性、断裂韧性和耐磨性等。

1.2.1 静载时材料的力学性能

单向静拉伸试验是工业上应用最广泛的金属力学性能试验方法之一。通过对标准的光滑圆柱试样拉伸试验可以测定金属材料的最基本力学性能指标,如强度、刚度、弹性和塑性。

拉伸力-伸长曲线(简称拉伸曲线)是拉伸试验中记录力对伸长量的关系曲线。低碳钢的拉伸曲线如图1-14所示。由图可见,低碳钢试样在拉伸过程中,可以分为弹性变形、塑性变形和断裂三个阶段。 OE 段为弹性变形阶段,即去掉外力后,变形立即恢复,这种变形称为弹性变形; E 点以上为弹塑性变形阶段,当载荷超过 F_e 后,试样将进一步伸长,但此时若去除载荷,弹性变形消失,而另一部分变形被保留,即试样不能恢复到原来的尺寸,这种不能恢复的变形称为塑性变形或永久变形;当载荷达到 F_s 时,拉伸曲线出现了水平的或锯齿形的线段,这表明在载荷基本不变的情况下,试样却继续变形,这种现象称为“屈服”,引起试样屈服的载荷称为屈服载荷;当载荷超过 F_s 后,外力增加不多,试样明显伸长,这表明试样开始产生大量塑性变形, CB 段为大量塑性变形阶段;当载荷继续增加到某一最大值 F_b 时,试样的局部截面积缩小,即产生缩颈现象, BK 段称为缩颈阶段,而试样承载能力也逐渐降低,当达到拉伸曲线上 K 点时,试样随即断裂, F_k 为试样断裂时的载荷。

由拉伸曲线可见,断裂时试样总伸长 Of 中, gf 是弹性变形, Og 是塑性变形,其中, Oh 是试样产生缩颈前的均匀变形, hg 是颈部的集中变形。

低碳钢断裂前会产生明显的塑性变形,发生的断裂称为韧性断裂,而某些脆性材料(如铸铁等)在尚未产生明显的塑性变形时已经断裂,不仅没有屈服现象,也不会产生缩颈现象,这种断裂称为脆性断裂。

拉伸曲线上的力和伸长量不仅与试样的材料性能有关,还与试样的尺寸有关。为了消除试样尺寸的影响,需要采用应力-应变曲线。纵坐标以应力 σ ($\sigma = \text{拉伸力}/\text{试样原始截面积}$)表示,横坐标以应变 ε ($\varepsilon = \text{伸长量}/\text{试样原始标距}$)表示,绘出应力-应变的关系曲线,称为应力-应变曲线。低碳钢的应力-应变曲线如图1-15所示。