

朱张校 主编 郑明新 主审

工程材料

ENGINEERING MATERIALS

(第三版)



清华大学出版社

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

工 程 材 料

(第三版)

朱张校 主编
郑明新 主审

清 华 大 学 出 版 社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书根据高等工业学校机械工程材料及物理化学课程教学指导小组制订的机械工程材料课程教学大纲和教学基本要求编写。阐述了工程材料的结构、组织、性能及其影响因素等工程材料的基本理论和基本规律;介绍了金属材料、高分子材料、陶瓷材料、复合材料等常用工程材料以及它们的应用等基本知识;讨论了机械零件的失效与选材等内容。

本书可作为高等院校机类专业学生的教材,也可供有关工程技术人员学习、参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料/朱张校主编. —3 版. —北京:清华大学出版社,2000
ISBN 7-302-04115-6

I. 工… II. 朱… III. 工程材料 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 77650 号

出版者:清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

印刷者:北京市清华园胶印厂

发行者:新华书店总店北京发行所

开 本:787×1092 1/16 印张:25 字数:577 千字

版 次:2001 年 1 月第 3 版 2001 年 1 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-04115-6/TH·87

印 数:0001~5000

定 价:29.00 元

前 言

“工程材料”课程是高等院校机类专业的一门技术基础课。高等工业学校机械工程材料及物理化学课程教学指导小组制订的教学大纲中指出：“工程材料”课程的任务是从机械工程的应用角度出发，阐明机械工程材料的基本理论，了解材料的成分、加工工艺、组织、结构与性能之间的关系，介绍常用机械工程材料及其应用等基本知识。本课程的目的是使学生通过学习，在掌握机械工程材料的基本理论及基本知识的基础上，具备根据机械零件使用条件和性能要求，对结构零件进行合理选材及制订零件工艺路线的初步能力。由于能源、材料和信息是现代社会和现代科学技术的三大支柱，学习并掌握工程材料的基本知识，对于工科院校机械类专业的学生是十分必要的。国内外许多高等院校已把“工程材料”（或称“机械工程材料”）课程设置为机械类专业的一门十分重要的技术基础课。

本书根据高等工业学校机械工程材料及物理化学课程教学指导小组制订的教学大纲和教学要求编定。可作为高等院校学生学习“工程材料”课程的教材，也可供有关工程技术人员学习、参考。

本书是在清华大学出版社出版的郑明新教授主编的《工程材料》第一版（1983年）、第二版（1991年）的基础上重编的。本书保留了《工程材料》第一版、第二版中的一些重要内容，在课程体系和内容上作了较大的改革。由于本书主要供非材料类专业学生使用，因此重点在于阐明各种工程材料的组织结构、性能和应用，以及正确选材和用材的基本知识。而对于材料内部一些组织转变的机理和细节则只作一般介绍。全书由三部分内容组成。第一部分为基本理论部分，由第1章、第2章组成，阐述了工程材料学的基本概念和基本理论，其内容为工程材料的结构、组织和性能以及它们之间的关系；金属材料组织与性能的影响因素和规律。增添了表面技术的内容。其中“金属材料的机械性能”内容是否讲授可根据学生有否学过“材料力学”课程而定。第二部分为工程材料知识部分，包括第3章至第7章。介绍常用金属材料、高分子材料、陶瓷材料及复合材料的成分、组织、性能及其应用知识。考虑到膨胀材料、记忆材料等功能材料已在机械、仪表、车辆、电器中得到越来越多的应用，增加了“功能材料”一章，以扩展学生的材料知识面。第三部分为工程材料的应用部分，由第8章至第10章组成。介绍机械零件的失效与选材知识以及工程材料在汽车、机床、仪器仪表、热能设备、化工设备及航空航天器等领域的应用情况，其中“工程材料的应用”一章可根据不同专业的学生，有选择地讲授部分内容，其他内容可由学生自学。书中

引入了较多的新材料、新技术知识,有利于培养学生的创新意识。本书的重点是第2、3章和第9章。

本书力求语言简洁,信息量大,内容新颖,科学性、实用性强,书末附有工程材料学常用词汇中英文对照表,可供读者阅读有关外文参考教材或文献时查阅。

配合本教材,我们另外编写了《工程材料习题及辅导》一书。内容包括《工程材料》各章重点、习题、课堂讨论指导书、实验指导书等,作为《工程材料》的配套教材。

本书编写者分工如下:

绪论、第1章1.1,1.2节,第2章2.1~2.4节,第3章3.4节,第9章9.3,9.4节由朱张校编写和编改;第1章1.3节,第4章,第9章9.1节,第10章10.1,10.4,10.5节由王昆林编写和编改;第1章1.4节,第5章,第6章,第7章,第9章9.2节由张华堂编写和编改;第2章2.5节,第3章3.1~3.3节由田芝瑞编写和编改;第2章2.6节,第8章由梁绵长编写和编改;第10章10.2,10.3,10.6节由王振家编写;书中显微组织照片由丁莲珍、朱张校制作;郑明新教授指导了本书的编写工作,对本书的编写提出了非常宝贵的意见,并在百忙中审阅了全书。全体编写者对郑明新教授表示衷心的感谢。

本书的编写参考了部分国内外有关教材、科技著作及论文。国际铜业协会(中国)提供了铜及铜合金的有关资料。在此特向有关作者和单位致以深切的谢意。

由于编者水平有限,本书不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

清华大学 朱张校

2000年5月 于北京

目 录

绪论	1
第 1 章 材料的结构与性能	11
1.1 金属材料的结构与组织	11
1.2 金属材料的性能	29
1.3 高分子材料的结构与性能	40
1.4 陶瓷材料的结构与性能	55
第 2 章 金属材料组织和性能的控制	67
2.1 纯金属的结晶	67
2.2 合金的结晶	76
2.3 金属的塑性加工	99
2.4 钢的热处理	109
2.5 钢的合金化	141
2.6 表面技术	150
第 3 章 金属材料	162
3.1 碳钢	162
3.2 合金钢	166
3.3 铸钢与铸铁	202
3.4 有色金属及其合金	219
第 4 章 高分子材料	248
4.1 工程塑料	248
4.2 合成纤维	257
4.3 合成橡胶	262
4.4 胶粘剂	265
第 5 章 陶瓷材料	269
5.1 普通陶瓷	270
5.2 特种陶瓷	272

第 6 章 复合材料	279
6.1 复合材料的复合原则	280
6.2 复合材料的性能特点	283
6.3 非金属基复合材料	285
6.4 金属基复合材料	290
第 7 章 功能材料	293
7.1 电功能材料	293
7.2 磁功能材料	295
7.3 热功能材料	298
7.4 光功能材料	301
7.5 其他功能材料	303
第 8 章 机械零件的失效与选材原则	304
8.1 机械零件的失效及失效分析	304
8.2 零件失效形式	306
8.3 机械零件选材原则	313
8.4 不同失效形式的选材分析	317
第 9 章 典型工件的选材及工艺路线设计	327
9.1 齿轮选材	327
9.2 轴类零件选材	333
9.3 弹簧选材	339
9.4 刀具选材	344
第 10 章 工程材料的应用	347
10.1 汽车用材	347
10.2 机床用材	357
10.3 仪器仪表用材	365
10.4 热能设备用材	367
10.5 化工设备用材	372
10.6 航空航天器用材	377
附录	382
附录 1 金属热处理工艺的分类及代号	382
附录 2 国内外常用钢号对照表	386
附录 3 工程材料常用词汇表	388
参考文献	392

绪 论

材料是人类用来制造各种产品的物质,是人类生活和生产的物质基础。人类社会的发展伴随着材料的发明和发展。人类最早使用的材料是石头、泥土、树枝、兽皮等天然材料。由于火的使用,人类发明了陶器、瓷器,其后又发明了青铜器、铁器。因此历史学家常根据材料的使用,将人类生活的时代划分为石器时代、青铜器时代、铁器时代。而今人类已跨进人工合成材料的新时代,金属材料以及高分子材料、陶瓷材料、复合材料等新型材料得到迅速的发展,为现代社会的发展奠定了重要的物质基础。

0.1 中华民族对材料发展的重大贡献

中华民族为材料的发展和应用作出了重大的贡献。在人类的发展史上,最先使用的工具是石器。我们的祖先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、石锄。早在新石器时代(公元前 6000 年—5000 年)的磁山(河北)-裴李岗(河南)文化时期,中华民族的先人们用粘土(主要成分为 SiO_2 、 Al_2O_3)烧制成陶器。在仰韶(河南)文化(公元前 4000 年—200 年)和龙山(山东、河南等)文化时期制陶技术已经发展到能在氧化性气氛的窑中(950°C)烧制成红陶,在还原性气氛的炉中(1050°C)烧制薄胎黑陶与白陶。在 3000 多年前的殷、周时期,发明了釉陶,炉窑温度提高到了 1200°C 。马家窑(甘肃)文化时期的陶器以砂质和泥质红陶为主,表面彩绘有条带纹、波纹和舞蹈纹等

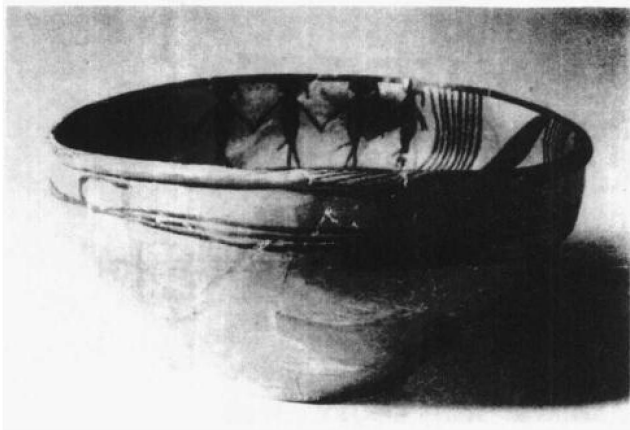


图 0-1 陶器

(图 0-1), 制品有炊具、食具、盛储器皿等。我国在东汉时期发明了瓷器(图 0-2), 成为最早生产瓷器的国家。瓷器于 9 世纪传到非洲东部和阿拉伯国家, 13 世纪传到日本, 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。直到今天, 中国瓷器仍畅销全球, 名誉四海。



图 0-2 瓷器

我国青铜的冶炼在夏朝(公元前 2140 年始)以前就开始了, 到殷、西周时期已发展到很高的水平。青铜主要用于制造各种工具、食器、兵器。从河南安阳晚商遗址出土的司母戊鼎重达 875kg, 外型尺寸为 1.33m×0.78m×1.10m, 是迄今世界上最古老的大型青铜器(图 0-3)。在制造时采用了精湛的铸造技术。在泥模塑造、陶范翻制、合范、熔炼、浇注等铸造全过程中, 充分体现了中国古代劳动人民的聪明才智和优秀的技艺。从湖北江陵楚墓中发掘出的越王勾践的两把宝剑, 长 0.557m, 宽 0.046m, 保存完好, 基本上没有腐蚀, 金光闪闪, 锋利异常, 剑体满饰菱形花纹, 剑上铭刻八字“越王勾践, 自作用剑”, 是我国青铜器的杰作。在湖北大冶发现的春秋晚期的铜矿井遗址深达 50m, 炼铜炉渣有 40 多万

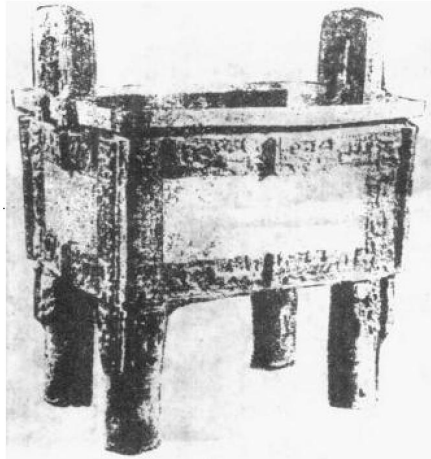


图 0-3 司母戊鼎

吨,实属罕见。从湖北隋县出土的战国青铜编钟是我国古代文化艺术高度发达的见证。春秋战国时期《周礼·考工记》中记载了钟鼎、斧斤等六类青铜器中的锡含量,称为“六齐(剂)”。书中写道:“六分其金而锡居一,谓之钟鼎之齐;五分其金而锡居一,谓之斧斤之齐;四分其金而锡居一,谓之戈戟之齐;三分其金而锡居一,谓之大刃之齐;五分其金而锡居二,谓之削杀矢之齐;金、锡半,谓之鉴燧之齐”。这是世界上最古老的关于青铜合金成分的文字记载。这表明我们的祖先已经认识到了青铜的性能与成分之间的密切关系。我国劳动人民创造了灿烂的青铜文化。

我国从春秋战国时期(公元前 770 年—221 年)已开始大量使用铁器。从兴隆战国铁器遗址中发掘出了浇铸农具用的铁模,说明冶铸技术已由泥砂造型水平进入铁模铸造的高级阶段。到了西汉时期,炼铁技术又有了很大的提高,采用煤作为炼铁的燃料,这要比欧洲早 1700 多年。在河南巩县汉代冶铁遗址中,发掘出 20 多座冶铁炉和锻炉,炉型庞大,结构复杂,并有鼓风装置和铸造坑,可见当年生产规模之壮观。我国古代创造了三种炼钢方法。第一种是从矿石中直接炼出自然钢。用这种钢制作的剑在东方各国享有盛誉,东汉时传入了欧洲;第二种是西汉时期的经过“百次”冶炼锻打的百炼钢;第三种是南北朝时期生产的灌钢。先炼铁后炼钢的两步炼钢技术我国要比其他国家早 1600 多年。钢的热处理技术也达到了相当高的水平。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。明代科学家宋应星在《天工开物》一书中对钢铁的退火、淬火、渗碳工艺作了详细的论述。钢铁生产工具的发展,对社会进步起了巨大的推动作用。

在材料领域中还应该提到的是丝绸。丝绸是一种天然高分子材料,它在我国有着悠久的历史,于 11 世纪传到波斯、阿拉伯、埃及,并于 1470 年传到意大利的威尼斯,进入欧洲。中国丝绸,名扬四海。

历史充分说明,我们勤劳智慧的祖先,在材料的创造和使用上有着辉煌的成就,为人类文明、世界进步作出了巨大贡献。

中华人民共和国成立以后,我国的钢铁冶炼技术有了突破性进展,目前钢产量已跃居世界首位。武汉长江大桥使用碳素结构钢 A3(即 Q235)钢制造,而我国自行设计和建造的南京长江大桥则用强度较高的合金结构钢 16Mn 制造,九江长江大桥则用强度更高的合金结构钢 16MnVN 制造。我国的原子弹、氢弹的研制成功,火箭、人造卫星的上天,都以材料的发展为坚实基础。年产 30 万吨乙烯工程的建成大大地推动了我国高分子材料工业的发展。

在当代,科学技术和生产飞跃发展。材料、能源与信息作为现代社会和现代技术的三大支柱,发展格外迅猛。

在材料中非金属材料发展神速,尤以人工合成高分子材料的发展最快。从 20 世纪 60 年代到 70 年代,有机合成材料每年以 14% 的速度增长,而金属材料的年增长率仅为 4%。到 70 年代中期,全世界的有机合成材料和钢的体积产量已经相等;除了用作为结构材料代替钢铁外,目前正在研究和开发具有良好导电性能和耐高温的有机合成材料。陶瓷材料的发展同样十分引人注目,它除了具有许多特殊性能作为重要的功能材料(例如可

作光导纤维、激光晶体等)以外,其脆性和抗热震性正在逐步获得改善,是最有前途的高温结构材料。机器零件和工程结构已不再只使用金属材料制造了。

随着航空、航天、电子、通信等技术以及机械、化工、能源等工业的发展,对材料的性能提出越来越高、越来越多的要求。传统的单一材料已不能满足使用要求。复合材料的研究和应用引起了人们的重视。如玻璃纤维树脂复合材料(即玻璃钢)、碳纤维树脂复合材料已应用于宇航和航空工业中制造卫星壳体、宇宙飞行器外壳、飞机机身、螺旋桨、发动机叶轮等;在交通运输工业中制造汽车车身、轻型船、艇等,在石油化工工业中制造耐酸、耐碱、耐油的容器、管道等。

近几年来,我国在新材料的研究和材料加工新工艺的研究工作中取得卓有成效的重大成果。研制成功性能优越、用途广泛的新型结构钢;研制出零电阻温度为 128.7K 的 Tl-Ca-Ba-Cu-O 超导体(铊系超导体),我国在 C60 和巴基管新型碳材料的研究方面取得许多新的成果,利用巴基管作为衬底,制备出均匀、致密的金刚石薄膜,并用巴基管作为晶须增强复合材料,制作纳米复合材料。材料快速成型技术和材料表面处理技术在我国得到迅速发展。激光表面淬火、激光熔涂技术已在汽车发动机缸套、凸轮轴、石油抽油管、纺织用锭杆等零件的表面强化上得到应用。化学气相沉积(CVD)可制造出高硬度、高耐磨性的金黄色 TiN 薄膜,用于耐磨零件和装饰件的表面处理。

总之,材料科学和材料工程发展很快。我们需要掌握材料科学的基本理论和基本知识,研究和发明新的材料和新的工艺,合理地使用各种工程材料,为四个现代化建设事业作出应有的贡献。

0.2 工程材料的分类

1. 材料的结合键

工程材料种类繁多,可以有不同的分类方法。比较科学的方法是根据材料的结合键进行分类。各种工程材料是由各种不同的元素组成,由不同的原子、离子或分子结合而成。原子、离子或分子之间的结合力称为结合键。一般可把结合键分为离子键、共价键、金属键和分子键四种。

(1) 离子键

当周期表(表 0-1)中相隔较远的正电性元素原子和负电性元素原子接触时,前者失去最外层价电子变成带正电荷的正离子,后者获得电子变成带负电荷的满壳层负离子。正离子和负离子由静电引力相互吸引;同时当它们十分接近时发生排斥,引力和斥力相等即形成稳定的离子键,如图 0-4 所示。

离子键的结合力很大,因此离子晶体的硬度高,强度大,热膨胀系数小,但脆性大。离子键中很难产生可以自由运动的电子,所以离子晶体都是良好的绝缘体。在离子键结合中,由于离子的外层电子比较牢固地被束缚,可见光的能量一般不足以使其受激发,因而不吸收可见光,所以典型的离子晶体是无色透明的。

(2) 共价键

处于周期表中间位置的 3、4、5 价元素,原子既可能获得电子变为负离子,也可能丢失

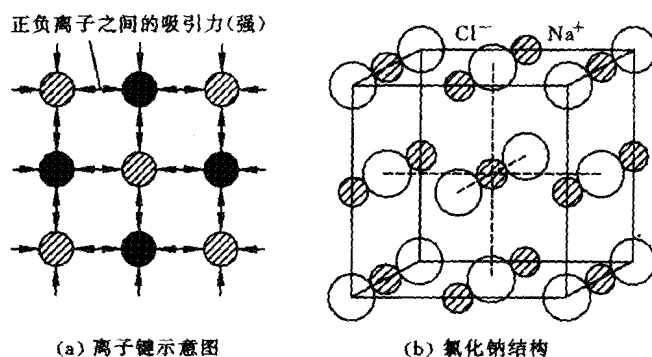


图 0-4 离子键(a)和离子晶体(b)

电子变为正离子。当这些元素原子之间或与邻近元素原子形成分子或晶体时,以共用价电子形成稳定的电子满壳层的方式实现结合。这种由共用价电子对产生的结合键叫共价键[图 0-5(a)]。

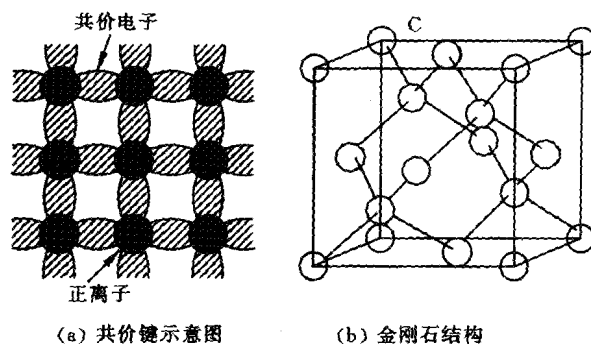


图 0-5 共价键(a)和共价晶体(b)

最具有代表性的共价晶体为金刚石,其结构见图 0-5(b)。金刚石由碳原子组成,每个碳原子贡献出 4 个价电子与周围的 4 个碳原子共有,形成 4 个共价键,构成正四面体:一个碳原子在中心,与它共价的另外 4 个碳原子在 4 个顶角上。硅、锗、锡等元素也可构成共价晶体。属于共价晶体的还有 SiC 、 Si_3N_4 、 BN 等化合物。

共价键的结合力很大,所以共价晶体强度高,硬度高,脆性大,熔点高,沸点高和挥发性低。

(3) 金属键

周期表中 I、II、III 族元素的原子在满壳层外有一个或几个价电子。原子很容易丢失其价电子而成为正离子。被丢失的价电子不为某个或某两个原子所专有或共有,而是为全体原子所公有。这些公有化的电子叫做自由电子,它们在正离子之间自由运动,形成所谓电子气。正离子在三维空间或电子气中呈高度对称的规则分布。正离子和电子气之间产生强烈的静电吸引力,使全部离子结合起来。这种结合力就叫做金属键,如图 0-6(a)所示。图 0-6(b)显示金属键结合的钠的结构。

表 0-1 简化元素周期表

I A	II A	III B	IV B	V B	VI B	VII B	Ⅷ	IB	II B	III A	IV A	V A	VI A	VII A	0
1H 氢															2He 氦
3Li 锂	4Be 铍							29Cu 铜	30Zn 锌	5B 硼	6C 碳	7N 氮	8O 氧	9F 氟	10Ne 氖
11Na 钠	12Mg 镁							47Ag 银	48Cd 镉	13Al 铝	14Si 硅	15P 磷	16S 硫	17Cl 氯	18Ar 氩
19K 钾	20Ca 钙	21Sc 钪	22Ti 钛	23V 钒	24Cr 铬	25Mn 锰	26Fe 铁	27Co 钴	28Ni 镍	31Ga 镓	32Ge 锗	33As 砷	34Se 硒	35Br 溴	36Kr 氪
37Rb 铷	38Sr 锶	39Y 钇	40Zr 锆	41Nb 铌	42Mo 钼	43Tc 锝	44Ru 钌	45Rh 铑	46Pd 钯	49In 铟	50Sn 锡	51Sb 锑	52Te 碲	53I 碘	54Xe 氙
55Cs 铯	56Ba 钡	57La 镧	72Hf 铪	73Ta 钽	74W 钨	75Re 铼	76Os 锇	77Ir 铱	78Pt 铂	81Tl 铊	82Pb 铅	83Bi 铋	84Po 钋	85At 砹	86Rn 氡
87Fr 钫	88Ra 镭	89Ac 锕						80Hg 汞	80Hg 汞						

过渡元素

共价键非金属

共价键金属

贵金属

难熔金属

金属键

惰性气体

* 57~71 镧系

* 89~103 锕系

104 Rf

105 Ha

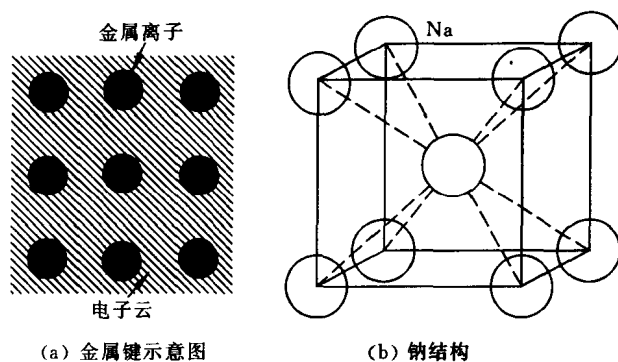


图 0-6 金属键(a)和金属晶体(b)

在金属晶体中,价电子弥漫在整个体积内,所有的金属离子皆处于相同的环境之中,全部离子(或原子)均可被看成是具有一定体积的圆球,所以金属键无所谓饱和性和方向性。

金属由金属键结合,因此金属具有下列特性:

① 良好的导电性和导热性。金属中有大量自由电子存在,当金属的两端存在电势差或外加电场时,电子可以定向地流动,使金属表现出优良的导电性。金属的导热性很好,一是由于自由电子的活动性很强,二是依靠金属离子振动的作用而导热。

② 正的电阻温度系数,即随温度升高电阻增大。绝大多数金属具有超导性,即在温度接近于绝对零度时电阻突然下降,趋近于零。加热时,离子(原子)的振动增强,空位增多,离子(原子)排列的规则性受干扰,电子的运动受阻,电阻增大。温度降低时,离子(原子)的振动减弱,则电阻减少。对于许多金属,在极低的温度($<20\text{K}$)下,由于自由电子之间结合成两个电子相反自旋的电子对,不易遭受散射,所以导电性趋于无穷大,产生超导现象。

③ 金属中的自由电子能吸收并随后辐射出大部分投射到其表面的光能,所以金属不透明并呈现特有的金属光泽。

④ 金属键没有方向性,原子间也没有选择性,所以在受外力作用而发生原子位置的相对移动时,结合键不会遭到破坏,使金属具有良好的塑性变形能力,金属材料的强韧性好。

(4) 分子键

原子状态形成稳定电子壳体的惰性气体元素,在低温下可结合成固体。甲烷分子在固态也能相互结合成为晶体。在它们的结合过程中没有电子的得失、共有或公有化,价电子的分布几乎不变,原子或分子之间是靠范德瓦耳斯力结合起来。这种结合方式叫分子键。范德瓦耳斯力实际上就是分子偶极之间的作用力。如图 0-7 所示。当一个分子中,正、负电荷的中心瞬时不重合,而使分子一端带正电,另一端带负电,形成偶极。偶极分子之间会产生吸引力,使分子之间结合在一起。在含氢的物质,特别是含氢的聚合物中,一个氢原子可同时和两个与电子亲合能力大的、半径较小的原子(如 F、O、N 等)相结合,形

成所谓氢键。氢键是一种较强的、有方向性的范德瓦耳斯键。其产生的原因是由于氢原子与某一原子形成共价键时,共有电子向那个原子强烈偏移,使氢原子几乎变成一半径很小的带正电荷的核,因而它还可以与另一个原子相吸引[图 0-7(c)]。

由于范德瓦耳斯力很弱,因此由分子键结合的固体材料熔点低、硬度也很低,因无自由电子,因此这些材料有良好的绝缘性。

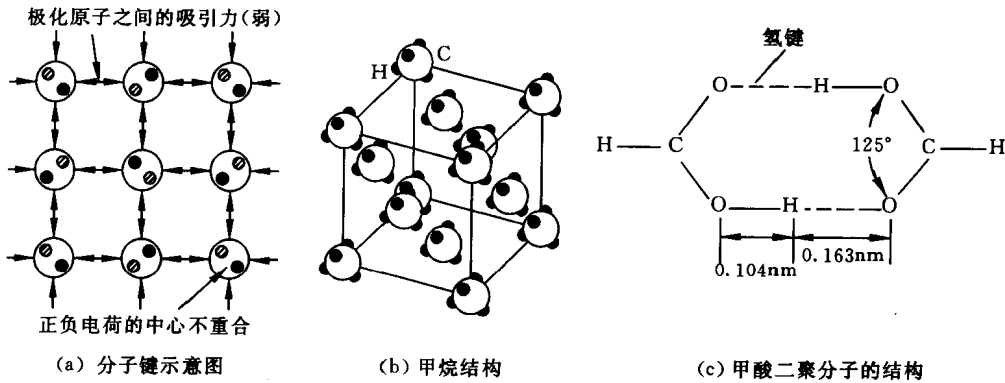
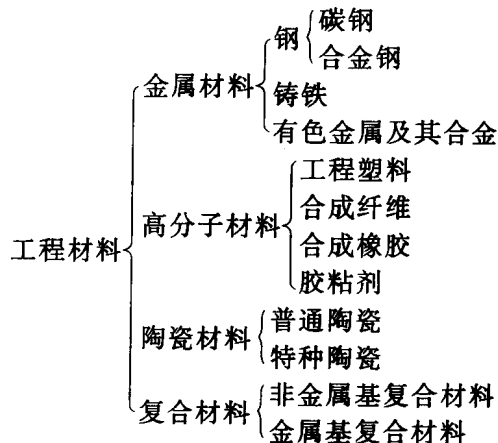


图 0-7 分子键(a)、分子晶体(b)和氢键(c)

2. 工程材料的分类

工程材料主要是指用于机械、车辆、船舶、建筑、化工、能源、仪器仪表、航空航天等工程领域中的材料,用来制造工程构件和机械零件,也包括一些用于制造工具的材料和具有特殊性能(如耐蚀、耐高温等)的材料。按其结合键的性质,一般将工程材料分为金属材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料等四大类:



(1) 金属材料

金属材料是最重要的工程材料,包括金属和以金属为基的合金。最简单的金属材料是纯金属。周期表中的金属元素分简单金属和过渡族金属两类。凡是内电子壳层完全填满或完全空着的元素,均属于简单金属;内电子壳层未完全填满的元素属于过渡族金属。

简单金属的结合键完全为金属键；过渡族金属的结合键为金属键和共价键的混合键，但以金属键为主。所以以金属为主体的工程金属材料，原子间的结合键基本上为金属键，皆为金属晶体材料。

工业上把金属和其合金分为两大部分：

- ① 黑色金属——铁和以铁为基的合金(钢、铸铁和铁合金)；
- ② 有色金属——黑色金属以外的所有金属及其合金。

应用最广的是黑色金属。以铁为基的合金材料占整个结构材料和工具材料的90%以上。黑色金属的工程性能比较优越，价格也比较便宜，是最重要的工程金属材料。

按照性能的特点，有色金属可分为：轻金属、易熔金属、难熔金属、贵金属、铀金属、稀土金属和碱土金属等。它们是重要的特殊用途材料。

(2) 高分子材料

高分子材料为有机合成材料，亦称聚合物。它具有较高的强度，良好的塑性，较强的耐腐蚀性能，很好的绝缘性，以及重量轻等优良性能，在工程上是发展最快的一类新型结构材料。

高分子材料由大量相对分子质量特别大的大分子化合物组成，每个大分子皆包含有大量结构相同、相互连接的链节。有机物质主要以碳元素(通常还有氢)为其结构组成，在大多数情况下它构成大分子的主链。大分子内的原子之间由很强的共价键结合，而大分子与大分子之间的结合力为较弱的范德瓦耳斯力。由于大分子链很长，大分子之间的接触面比较大，特别当分子链交缠时，大分子之间的结合力是可以很大的，所以高分子材料的强度较高。在分子中存在有氢时，氢键会加强分子间的相互作用力。

和无机材料一样，高分子材料按其分子链排列有序与否，可分为结晶聚合物和无定形聚合物两类。结晶聚合物的强度较高，结晶度决定于分子链排列的有序程度。

高分子材料种类很多，工程上通常根据机械性能和使用状态将其分为四大类：

① 塑料——主要指强度、韧性和耐磨性较好的、可制造某些机器零件或构件的工程塑料，分热塑性塑料和热固性塑料两种；

② 合成纤维——指由单体聚合而成的、强度很高的聚合物，通过机械处理所获得的纤维材料。

③ 橡胶——通常指经硫化处理的、弹性特别优良的聚合物，有通用橡胶和特种橡胶两种；

④ 胶粘剂

(3) 陶瓷材料

陶瓷是人类应用最早的材料。它坚硬，稳定，可以制造工具、用具；在一些特殊的情况下也可作为结构材料。

陶瓷是一种或多种金属元素同一种非金属元素(通常为氧)的化合物，其中尺寸较大的氧原子为陶瓷的基质，较小的金属(或半金属如硅等)原子处于氧原子之间的空隙里。氧原子同金属原子化合时形成很强的离子键，同时也存在有一定成分的共价键，但离子键是主要的。例如MgO晶体中，离子键占84%，共价键占16%。也有一些特殊陶瓷以共价键为主。陶瓷的硬度很高，但脆性很大。

陶瓷材料属于无机非金属材料,是不含碳氢氧结合的化合物,主要为金属氧化物和金属非氧化物。由于大部分无机非金属材料含有硅和其他元素的化合物,所以又叫做硅酸盐材料。它一般包括无机玻璃(硅酸盐玻璃)、玻璃陶瓷(或称微晶玻璃)和陶瓷等三类。作为结构和工具材料,工程上应用最广的是陶瓷。

按照成分和用途,工业陶瓷材料可分为:

- ① 普通陶瓷(或传统陶瓷)——主要为硅、铝氧化物的硅酸盐材料;
- ② 特种陶瓷(或新型陶瓷)——主要为高熔点的氧化物、碳化物、氮化物、硅化物等的烧结材料;
- ③ 金属陶瓷——主要指用陶瓷生产方法制取的金属与碳化物或其他化合物的粉末制品。

(4) 复合材料

复合材料就是两种或两种以上不同材料的组合材料,其性能优于它的组成材料。复合材料可以由各种不同种类的材料复合组成,所以它的结合键非常复杂。它在强度、刚度和耐蚀性方面比单纯的金属、陶瓷和聚合物都优越,是一类特殊的工程材料,具有广阔的发展前景。

下面按以上分类对各类材料进行讨论,重点介绍当前应用最广的金属材料,特别是黑色金属钢铁。因为据估计,目前非金属材料在工业中应用约为5%~6%,在不久的将来也不会超过7%~8%,所以在相当长的时间内,金属材料还是主要的工程材料。