

普通高等教育“十二五”规划教材

普通高等院校机电工程类规划教材

工程材料 及机械制造基础

主编 明哲 于东林 赵丽萍

清华大学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

普通高等院校机电工程类规划教材

工程材料 及机械制造基础

主编 明哲 于东林 赵丽萍

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书是编者在总结近几年教学改革经验的基础上编写的。本书内容精练,理论阐述简明,文字简洁。

本书分为工程材料与机械制造基础两篇。工程材料篇主要阐述各种常用工程材料的化学成分、金属热处理原理与工艺、组织结构、使用性能及实际应用等方面的基础理论和基本知识,为机械零件及工程结构等的设计、制造和正确使用提供有关合理选材、用材的必要理论指导和实际帮助。机械制造基础篇主要阐述金属机件成形工艺,主要包括:金属材料铸造、压力加工和焊接生产过程的基本原理、材料的热加工工艺性能、各种热加工工艺的特点和适用范围、机械零件的结构工艺性等知识。此外,为了适应经济与社会发展,拓宽学生的知识面,教材中有意识地增加了部分先进材料成形工艺方面的知识,具有一定的时代特色。

本书可作为高等院校机械类或机电类专业本科生使用的教材,也可供高职高专与成人高校师生及有关工程技术人员参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

工程材料及机械制造基础/明哲,于东林,赵丽萍主编.--北京:清华大学出版社,2012.10

(普通高等院校机电工程类规划教材)

ISBN 978-7-302-29977-6

I. ①工… II. ①明… ②于… ③赵… III. ①工程材料—高等学校—教材 ②机械制造—高等学校—教材 IV. ①TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 210704 号

责任编辑:庄红权

封面设计:傅瑞学

责任校对:刘玉霞

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:20 字 数:456千字

版 次:2012年10月第1版 印 次:2012年10月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:36.00元

产品编号:047412-01

编 委 会

主 编 明 哲 于东林 赵丽萍

副主编 朱宝英 姜 峰 胡宇祥 刘 玲

参 编 索忠源 王 军 赵德金

前 言

本书是在总结近年来工程材料与机械制造基础教学经验的基础上组织编写的。编写过程中充分考虑了高等院校工科专业的特点,以适应 21 世纪的社会发展和科技进步为目标,对课程内容和课程体系进行了精心选取和编排,体现了应用型本科人才培养的特点。

本书内容由金属学、热处理、金属材料、机械制造基础组成,其基本要求如下。

(1) 金属学方面。了解纯金属的晶体结构,晶格缺陷及其对性能的影响;了解合金的结构和性能,相与组织的概念;了解金属塑性变形的实质及对金属组织和性能的影响;熟悉二元合金状态图和铁碳合金相图及应用。

(2) 热处理方面。了解钢在热处理过程中的组织转变及转变产物的形态和性能;掌握退火、正火、淬火、回火及表面热处理的工艺特点和应用;了解常见热处理缺陷及其产生原因和预防措施。

(3) 金属材料方面。掌握碳素钢、合金钢和铸铁的种类、牌号、性能及应用。

(4) 机械制造基础方面。通过机械制造基础课程的学习,使学生了解和掌握制造金属零件的基本方法(铸造、压力加工、焊接、切削加工等)、工艺过程和工艺方案,注重培养学生综合运用各相关学科的最新成就和制造金属零件的知识解决问题的能力,为学习其他有关课程及以后从事机械设计和加工制造方面的工作奠定必要的工艺基础。

本书由吉林农业科技学院、吉林化工学院、吉林农业大学、安阳工学院、延边大学 5 所院校联合编写,具体分工如下:第 1、7、10 章由明哲(吉林农业科技学院)编写;第 3、4、13 章由于东林(吉林化工学院)编写;第 8、9 章由赵丽萍(吉林农业大学)编写;第 2、6 章由姜峰(吉林化工学院)编写;第 5 章由朱宝英(吉林农业科技学院)编写;第 12 章由胡宇祥(吉林农业科技学院)编写;第 11 章由刘玲(安阳工学院)编写。另外索忠源(吉林化工学院)、王军(吉林化工学院)和赵德金(延边大学)参与了第 5、11、12 章的编写。全书由吉林化工学院邵泽波教授担任主审,邵教授提出了许多宝贵的意见和建议,使本书的质量得到保证,在此表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中难免存在不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2012 年 7 月

目 录

第 1 篇 工程材料

第 1 章 材料的原子结合方式及性能	3
1.1 固态物质的结合方式及原子结合键	3
1.1.1 晶体与非晶体	3
1.1.2 原子间的结合力与结合能	4
1.1.3 原子结合键的类型	5
1.2 工程材料的分类	7
1.3 工程材料的性能	8
1.3.1 力学性能	8
1.3.2 工艺性能	19
思考与练习	20
第 2 章 材料的晶体结构	21
2.1 晶体结构及其表达	21
2.1.1 晶格结构与晶胞	21
2.1.2 晶格常数与晶系	22
2.1.3 金属的晶体结构	23
2.1.4 立方晶系中的晶向与晶面	26
2.2 金属晶体结构的特点	29
2.2.1 单晶体与多晶体的概念	29
2.2.2 晶体中的缺陷	29
思考与练习	33
第 3 章 材料的凝固与相图	34
3.1 结晶与凝固特性及其影响因素	34
3.2 纯金属的结晶	35
3.2.1 纯金属的冷却曲线和冷却现象	35
3.2.2 结晶过程	36
3.2.3 结晶后的晶粒大小及控制	37
3.3 合金的结晶与结晶相图	39
3.3.1 合金的相结构及性能	39

3.3.2	合金相图的建立	43
3.3.3	二元合金的结晶与相图	44
3.3.4	合金的性能与相图的关系	51
3.3.5	铸锭(件)的凝固组织	53
	思考与练习	55
第4章	铁碳合金	56
4.1	铁碳合金系相图	56
4.1.1	铁碳合金系组元的特性	56
4.1.2	铁碳合金相图分析	57
4.2	铁碳合金平衡结晶过程及其分析	61
4.2.1	铁碳合金相图中的合金	61
4.2.2	钢和白口铸铁的平衡结晶过程	62
4.3	碳钢	67
4.3.1	碳钢的分类	67
4.3.2	碳钢的编号	68
4.3.3	碳钢的应用	68
4.4	铸铁	73
4.4.1	灰口铸铁	74
4.4.2	球墨铸铁	75
4.4.3	可锻铸铁	76
4.4.4	蠕墨铸铁	77
4.4.5	特殊性能铸铁	78
	思考题与练习	78
第5章	钢铁热处理	80
5.1	热处理过程钢的组织转变	80
5.1.1	钢在加热时的组织转变	80
5.1.2	钢在冷却时的组织转变	84
5.2	钢的整体热处理工艺及其特征	92
5.2.1	钢的退火与正火	92
5.2.2	钢的淬火	95
5.2.3	钢的回火	99
5.3	钢的表面热处理与化学热处理	100
5.3.1	钢的表面热处理	100
5.3.2	钢的化学热处理	102
5.4	铸铁热处理	107
5.4.1	普通灰铸铁的热处理	107

5.4.2	可锻铸铁的热处理	108
5.4.3	球墨铸铁的热处理	108
5.5	热处理与机械零件设计制造的关系	109
5.5.1	热处理的技术条件和结构工艺性	109
5.5.2	热处理对切削加工工艺的要求	111
	思考与练习	112
第6章	金属材料的塑性变形	114
6.1	单晶体与多晶体的塑性变形	114
6.1.1	单晶体的塑性变形	114
6.1.2	金属塑性变形的实质	118
6.1.3	多晶体的塑性变形	118
6.1.4	塑性变形对金属组织和性能的影响	119
6.2	变形金属在加热时的组织和性能的变化	121
6.2.1	回复	121
6.2.2	再结晶	122
6.2.3	晶粒长大	123
6.3	金属的热塑性变形	124
6.3.1	冷加工	124
6.3.2	热加工	125
6.3.3	热加工与冷加工的区别	126
6.3.4	材料塑性变形抗力的提高	127
	思考与练习	128
第7章	合金钢	129
7.1	概述	129
7.1.1	合金钢的分类	129
7.1.2	合金钢的编号	129
7.2	常用合金结构钢	130
7.2.1	普通低合金钢	130
7.2.2	合金渗碳钢	132
7.2.3	合金调质钢	132
7.2.4	合金弹簧钢	133
7.2.5	滚动轴承钢	134
7.3	合金工具钢	136
7.3.1	量具刃具钢	136
7.3.2	模具钢	136

7.3.3 高速工具钢·····	139
7.4 特殊性能钢及合金·····	141
7.4.1 不锈钢·····	141
7.4.2 耐热钢·····	142
7.4.3 耐磨钢·····	144
思考与练习·····	144
第8章 有色金属及其合金·····	146
8.1 铝及其合金·····	146
8.1.1 工业纯铝·····	146
8.1.2 铝合金的分类·····	146
8.1.3 变形铝合金·····	146
8.1.4 铸造铝合金·····	147
8.2 铜及其合金·····	149
8.2.1 纯铜·····	149
8.2.2 铜合金·····	149
8.3 镁及其合金·····	150
8.3.1 镁及镁合金的性能特点·····	150
8.3.2 镁及镁合金的牌号·····	151
8.3.3 镁合金的分类·····	152
8.4 钛及其合金·····	156
8.4.1 纯钛·····	156
8.4.2 工业用钛合金·····	157
思考与练习·····	159
第9章 其他常用工程材料·····	160
9.1 高分子材料·····	160
9.1.1 塑料·····	160
9.1.2 橡胶·····	162
9.2 无机非金属材料·····	163
9.3 复合材料·····	165
9.3.1 复合材料的概念·····	165
9.3.2 复合材料的分类·····	165
9.3.3 复合材料的特点·····	166
9.3.4 常用复合材料·····	167
思考与练习·····	169

第 2 篇 机械制造基础

第 10 章 铸造工艺性	173
10.1 铸造的理论基础	173
10.1.1 合金的铸造性能	173
10.1.2 金属的凝固方式	175
10.1.3 铸造生产的优缺点	176
10.1.4 铸件常见缺陷及防止措施	177
10.2 砂型铸造方法	180
10.2.1 砂型铸造的工艺流程	180
10.2.2 造型	180
10.2.3 砂芯的制备	182
10.2.4 合箱	183
10.2.5 浇注	183
10.2.6 铸件的落砂和清理	183
10.3 特种铸造方法	184
10.3.1 金属型铸造	184
10.3.2 熔模铸造	185
10.3.3 离心铸造	186
10.3.4 压力铸造	187
10.3.5 消失模铸造	188
10.4 铸造工艺设计	189
10.4.1 浇注位置的选择	189
10.4.2 分型面的选择	191
10.4.3 浇注系统	192
10.4.4 工艺参数的确定	193
10.4.5 铸造工艺图	194
10.5 铸造结构工艺性	194
10.5.1 砂型铸造工艺对铸件结构的要求	194
10.5.2 合金铸造性能对铸件结构的要求	195
思考与练习	197
第 11 章 塑性成形	200
11.1 塑性成形理论基础	200
11.1.1 金属塑性变形机理	200
11.1.2 塑性变形后金属的组织和性能	201
11.1.3 金属的可锻性	204

11.1.4	金属的变形规律	205
11.2	金属的加热与锻件冷却	206
11.2.1	金属的锻前加热	206
11.2.2	锻件的锻后冷却	207
11.3	塑性成形方法	207
11.3.1	轧制	207
13.3.2	拉拔	208
13.3.3	挤压	208
13.3.4	锻造	209
13.3.5	板料冲压	209
11.4	塑性成形工艺设计	209
11.4.1	自由锻造工艺设计	209
11.4.2	模锻工艺设计	214
11.4.3	胎模锻工艺	218
11.4.4	板料冲压	219
11.5	塑性加工方法的结构工艺性	220
11.5.1	自由锻零件的结构工艺性	220
11.5.2	模锻零件的结构工艺性	221
11.5.3	板料冲压件的结构工艺性	222
	思考与练习	223
第 12 章	焊接	225
12.1	焊接的理论基础	225
12.1.1	焊接特点及焊接方法的分类	225
12.1.2	电弧焊的冶金过程及其特点	225
12.1.3	焊接接头的金属组织和性能	227
12.1.4	焊接应力与变形	229
12.2	焊接方法	231
12.2.1	熔化焊	231
12.2.2	压力焊	236
12.2.3	钎焊	239
12.3	焊接结构工艺设计	240
12.3.1	焊接结构材料的选择	240
12.3.2	焊接方法的选择	240
12.3.3	焊接接头工艺设计	242
	思考与练习	245

第 13 章 切削加工	247
13.1 切削加工理论基础	247
13.1.1 切削加工的技术发展	247
13.1.2 金属材料的切削加工	248
13.1.3 非金属材料的切削加工	249
13.2 金属切削刀具	251
13.2.1 车刀切削部分的组成	251
13.2.2 车刀切削部分的主要角度	252
13.2.3 刀具结构	257
13.2.4 切削用量	258
13.2.5 切削层参数	260
13.2.6 刀具材料	261
13.2.7 切屑形成过程及切屑种类	262
13.3 金属切削机床	264
13.4 常用切削加工的工艺特点及其应用	267
13.4.1 车削的工艺特点及其应用	267
13.4.2 铣削的工艺特点及其应用	270
13.4.3 刨削的工艺特点及其应用	273
13.4.4 磨削的工艺特点及应用	274
13.4.5 钻削的工艺特点及其应用	276
13.5 切削加工零件的结构工艺性	279
13.6 切削加工工艺过程的拟定	286
13.6.1 零件的工艺分析	286
13.6.2 毛坯的选择及加工余量的确定	286
13.6.3 定位基准的选择	287
13.6.4 工艺路线的拟定	291
13.6.5 工艺文件的编制	293
13.7 典型零件的工艺过程	294
13.7.1 轴类零件	294
13.7.2 套类零件	296
13.7.3 箱体类零件	298
思考与练习	302
参考文献	305

第1篇 工程材料

材料、能源、信息被人们称为现代技术的三大支柱,而能源和信息的发展,在一定程度上又依赖于材料的进步。例如,要提高热机效率,必须提高工作温度,所以要求制造热机的材料在高温下具有足够的强度、韧度和耐热性。这是一般钢铁材料无法达到的。而用新型陶瓷材料制成的高温结构陶瓷柴油机可节油30%,热机效率可提高50%。目前甚至还研制出在1400℃工作的涡轮发动机陶瓷叶片,大大提高了效率。由此可见,开发新材料可提高现有能源的利用率。半导体材料、传感器材料、光导纤维材料的开发,促进了信息技术水平的提高与发展。未来新型产业的发展,无不依赖于材料的进步。例如,开发海洋探测设备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的新材料;在医学上,制造人工脏器、人造骨骼、人造血管等要使用各种具有特殊功能且与人体相容的新材料。由于材料在人类社会中的重要作用,许多国家把材料科学作为重点发展的学科,而材料的品种、数量和质量也成为衡量一个国家科学技术和国民经济水平以及国防力量的重要标志之一。

材料是人类生产和生活所必需的物质基础。人类的衣食住行都离不开材料,从日常用的器具到高技术产品,从简单的手工工具到复杂的航天器、机器人,都是用各种材料制作而成或由其加工的零件组装而成。纵观人类历史,每一种新材料的出现并得以利用,都会给社会生产与人类生活带来巨大的变化。材料的发展水平和利用程度已成为人类文明进步的标志之一。例如,没有半导体材料的工业化生产,就不可能有目前的计算机技术;没有高温高强度的结构材料,就不可能有今天的航空航天工业;没有光导纤维,也就没有现代化的光纤通信。

材料的发展经历了从低级到高级,从简单到复杂,从天然到合成的发展历程。近半个世纪来,材料的研究和生产以及材料科学理论都得到了迅速的发展。1863年第一台金相光学显微镜问世,促进了金相学的研究,使人们步入材料的微观世界。1912年发现了X射线,开始了晶体微观结构的研究。1932年发明的电子显微镜以及后来出现的各种先进分析工具,把人们带到了微观世界的更深层次。一些与材料有关的基础学科(如固体物理学、量子力学、化学等)的发展,又有力地推动了材料研究的深化。未来,人工合成材料将得到更大的发展,进入金属材料、高分子材料、陶瓷材料及复合材料共存的时代。

材料按用途可分为工程材料和功能材料。工程材料按用途又可分为建筑工程材料、

机械工程材料、电工材料等。按原子聚集状态分,材料又可分为单晶体材料、多晶体材料和非晶体材料。按材料的化学成分和结构还可分为金属材料、非金属材料 and 复合材料 3 大类。

材料科学是一门研究材料成分、微观组织与结构、加工工艺、性能与应用之间内在相互关系及其变化规律的学科。它以化学、固体物理学、力学等为基础,是一门多学科交叉的边缘学科,材料科学理论与实验是材料发展与创新的基础与前提。

第 1 章 材料的原子结合方式及性能

作为物质体系的基本单元——原子、离子或分子等粒子,在构成物质的具体状态时,彼此之间会发生作用,存在着相互作用力(包括吸引力和排斥力),并产生相互作用的势能;又由于粒子本身不停的热运动,还产生相应的动能。粒子间的相互吸引力越大,结合得越紧密;粒子的热运动越剧烈,彼此分离的趋势越大。物质的状态取决于粒子间的相互作用和它们的热运动。在一定的温度、压力等外界条件下,物质若处于气态,表面粒子的动能大大超过粒子的势能;当温度和压力降低,粒子的热运动变慢,相互距离变近,其动能小于相互间作用的势能时,物质就会由气态过渡到凝聚态。这时,如果粒子间的引力不能保证粒子在较长距离内呈有序排列,但还能保证粒子承受热冲击而不分开,物质变成液态;当粒子间的距离变得很近,相互作用的势能比粒子的动能大得多,物质则处于固态,工程上常用的材料一般都是固态物质。

本章主要讲述固态物质中原子结合方式及所导致的材料性能特点。

1.1 固态物质的结合方式及原子结合键

1.1.1 晶体与非晶体

材料依结合键以及原子或分子的大小不同可在空间组成不同的排列类型(即不同的结构)。材料结构不同,则性能不同;材料的种类和结合键都相同,但是原子排列的结构不同时,其性能也有很大的差别。通常按原子在物质内部的排列规则性将物质分为晶体和非晶体。

1. 晶体

所谓晶体是指原子在其内部沿三维空间呈周期性重复排列的一类物质。几乎所有金属、大部分的陶瓷以及部分聚合物在其凝固后具有晶体结构。

晶体的主要特点是:①结构有序;②物理性质表现为各向异性;③有固定的熔点;④在一定条件下有规则的几何外形。典型的晶体如天然的金金刚石、结晶盐、水晶等。

2. 非晶体

所谓非晶体是指原子在其内部沿三维空间呈紊乱、无序排列的一类物质。典型的非晶体材料是玻璃。虽然非晶体在整体上是无序的,但在很小的范围内原子排列还是有一定规律性的,所以原子的这种排列规律又称“短程有序”;而晶体中原子的排列规律性又称为“长程有序。”

非晶体的特点是:①结构无序;②物理性质表现为各向同性;③没有固定的熔点;④热导率(导热系数)和膨胀性小;⑤在相同应力作用下,非晶体的塑性变形大;⑥组成非晶体的化学成分变化范围大。

3. 晶体与非晶体的转化

非晶体的结构是短程有序,即在很小的尺寸范围内存在着有序性;而晶体内部虽存在长程有序的结构,但在小范围内存在缺陷,即在很小的范围内存在着无序性。所以两种结构存在有共同的特点,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。研究表明,晶体与非晶体在一定的条件下可以相互转化。如通常是晶体的金属,若将它从液态通过急冷(大约 10^6 °C/s),便可使其具有类似玻璃的某些非晶态特征,所以也有人称非晶态金属为“玻璃态金属”;而非晶态的玻璃经高温长时间加热又可形成晶体玻璃。值得指出的是,广泛使用的工程材料多为晶体物质。

有些物质可看成有序和无序的中间状态,如塑料、液晶、准晶等。

1.1.2 原子间的结合力与结合能

晶体中的原子为长程有序的规则排列,与其原子间的相互作用有关。当两个原子接近时,原子核不发生变化,但是原子的外层电子会重新排布,或是失去电子(电离能低者),或是吸收电子(电负性高者),于是引起相互间的静电作用,即吸引作用与排斥作用。吸引力产生于异性电荷间的库仑引力,它随原子间距的缩小呈指数关系增大。排斥力产生于同性电荷之间的库仑斥力及电子云的重叠所引起的斥力。前者作用的距离范围比后者大得多。在引力作用下,随着原子间距的不断缩小,斥力也呈增大的趋势。当两个原子接近到一定程度时,斥力的增长速度会大于引力。图 1-1 表示了两个原子间的吸引力($F_{吸}$)、排斥力($F_{斥}$)及它们的合力($F_{总}$)随两原子间的距离变化的情形。图中 A 点处的合力为零,即当两原子间的距离为 a_0 时,吸引力与排斥力平衡,此时原子间相互作用的势能具有最低值 E_0 ,称为原子间的结合能。 a_0 为平衡距离,当两原子间的平衡距离小于 a_0 时,斥力大于引力,原子的距离趋于扩大;当两原子的距离大于 a_0 时,引力大于斥力,原子间距趋于变小。所以,要将相距为平衡距离的两原子拉开或压缩都需要做功,并引起能量的升高。

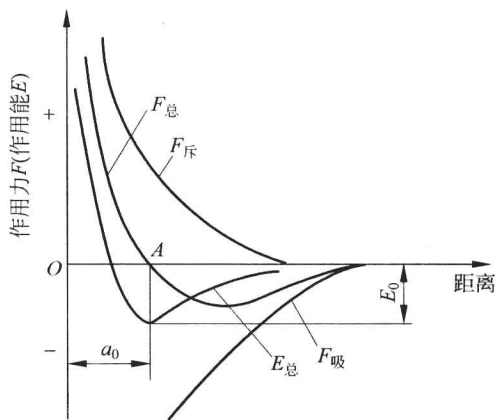


图 1-1 原子间相互作用力(作用能)

上述两原子的结合情况表明了对于大量原子聚合的固态物质,只有当其原子间相距为平衡距离,并成为规则排列的晶体,处于最低能量状态时,才是最稳定的。在晶体中,使原子稳定结合在一起的力及其结合方式叫结合键。晶体结合键的强弱用其原子结合能来表征,即把 1mol 的固体分解为自由原子所需的能量(kJ/mol)。原子的结合能越大,键的结合力越强。不同类型的原子,它们之间形成结合键的方式不一样,结合能的大小也不相同。

1.1.3 原子结合键的类型

晶体中有金属键、共价键、离子键、范德瓦耳键(分子键)等几种基本类型的原子结合键。

1. 金属键

金属原子之间的结合键称为金属键。金属原子间依靠金属键结合形成金属晶体。金属原子结构的特点是外层电子少,原子容易失去其价电子而成为正离子。当金属原子相互结合时,金属原子的外层电子(价电子)就脱离原子,成为自由电子,为整个金属晶体中的原子所共有,这些公有化的自由电子在正离子之间自由运动形成“电子云”。这种由金属正离子与自由电子间的静电作用,使金属原子结合起来,形成金属晶体。这种结合方式称为金属键,如图 1-2 所示。

除铍、镱、锶、镓等亚金属为共价键结合外,绝大多数金属元素(周期表中 I、II、III 族元素)是以金属键结合的。在金属晶体中,价电子弥漫在整个体积内,所有的金属离子都处于同样的环境中,全部离子(原子)均可看成具有一定体积的圆球,所以金属键无所谓方向性和饱和性。金属晶体具有良好的导电性、导热性、正的电阻温度系数、良好的强度、塑性及特有的金属光泽等,都直接归因于金属键结合。

2. 共价键

当两个相同的原子或性质相差不大的原子相互接近时,它们的原子间不会有电子转移。此时相邻原子各提供一个电子形成共用电子对,以达到稳定的电子结构。这种由共用电子对所产生的力称为共价键,如图 1-3(a)所示。

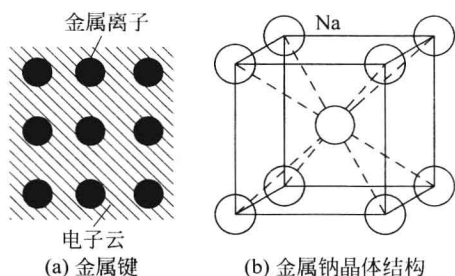


图 1-2 金属键及金属钠晶体结构

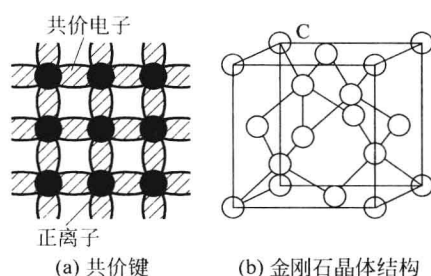


图 1-3 共价键及金刚石晶体结构

元素周期表中的 IV A、VA、VI A 族大多数元素或电负性不大的原子相互结合时,原子间不产生电子的转移,以共价电子形成稳定的电子满壳层的方式实现结合。共价键结合时,由于电子对之间强烈的排斥力,使共价键具有明显的方向性。由于方向性不允许改变原子之间的相对位置,使材料不具有塑性且比较坚硬。最具代表性的共价晶体为金刚石,其结构如图 1-3(b)所示。金刚石结构由碳原子组成,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,构成四面体(即一个碳原子在中心,与它共价的 4 个碳原子在 4 个顶角上)。共价键的结合力很大,熔点高,沸点高,挥发性低。锡、锆、铅等亚金属及 SiC、Si₃N₄、BN 等非金属材料都是共价晶体。