

高等学校教材·材料科学与工程
MATERIALS SCIENCE

(第5版)

材料科学基础

刘智恩 主编

MATERIALS
SCIENCE &
ENGINEERING
TEXTBOOKS
FOR
HIGHER
EDUCATION

西北工业大学出版社

高等学校教材·材料科学与工程

材料科学基础

(第5版)

刘智恩 主编

西北工业大学出版社

西安

【内容简介】 本书阐述了与工程材料有关的基本理论及应用,包括晶体学基础、晶体缺陷理论、材料中的相结构、凝固理论、相平衡及相图、固体中的扩散、塑性变形、回复与再结晶、固态相变和材料复合原理等,并介绍了材料科学发展的新领域、新思维、新方法和新成果。作为教材,本书的主要特点是难度适中,重点突出;以工程材料为对象,阐述其基本原理及基础知识;强调工程实践,联系生产实际;针对基本知识点,编写了较多的例题,便于自学。

本书可作为材料成型及控制、铸造、焊接、腐蚀与防护、材料学等专业的教材及考研参考书,也可用作相关工程技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP)数据

材料科学基础/刘智恩主编.—5版.—西安:
西北工业大学出版社,2019.8
ISBN 978-7-5612-6525-3

I. ①材… II. ①刘… III. ①材料科学-高等学校-教材 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019)第 155576 号

CAILIAO KEXUE JICHU
材料科学基础

责任编辑:雷 军	策划编辑:雷 军
责任校对:朱晓娟	装帧设计:李 飞
出版发行:西北工业大学出版社	
通信地址:西安市友谊西路 127 号	邮编:710072
电 话:(029)88491757, 88493844	
网 址:www.nwpup.com	
印 刷 者:兴平市博闻印务有限公司	
开 本:787 mm×1 092 mm	1/16
印 张:22.75	
字 数:594 千字	
版 次:2019 年 8 月第 5 版	2019 年 8 月第 1 次印刷
定 价:49.00 元	

如有印装问题请与出版社联系调换

前 言

《材料科学基础》首版是在“按大类招生、加强基础,面向 21 世纪”的思想指导下,于 1999 年 9 月编写而成,自出版以来,深受广大读者喜爱,特别是 2004 年西北工业大学同名课程被评为“国家精品课程”以来,本书受到更大的关注。不少高等院校把本书作为基本教材或者指定为考研参考书。对此,我们感到很欣慰,也由衷地感谢读者和同行的厚爱。为了满足大家的需求,我们进行了多次修订再版。

“材料科学基础”是材料科学与工程专业本科生的一门核心专业基础课。这门课主要介绍与工程材料相关的基本理论和基础知识,包括原子排列(晶体缺陷理论)、固体中的相结构、凝固理论、相图(材料热力学及平衡理论)、固体中的扩散、塑性变形、回复与再结晶(材料强韧化理论)、复合效应与界面、固态相变等。

本书授课时数为 80 学时左右。使用本书之前,学生应学习过“物理化学”“材料力学”等课程,并初步具有材料生产、加工和使用方面的实践知识。

为了配合本书的使用,我们制作了《多媒体化材料科学基础》(西北工业大学音像电子出版社,2005 年 3 月);编写了《材料科学基础常见题型解析及模拟习题》(西北工业大学出版社,2001 年 1 月),后改版重编为《材料科学基础导教·导学·导考》(西北工业大学出版社,2015 年 6 月)。<《材料科学基础导教·导学·导考》包括知识结构、重要公式、精典范例、考研模拟等,并给出本书中各章的习题、思考题的参考答案,便于学生自学。

本书自第 1 版出版后,由刘智恩征集各方意见,进行多次修订。在第 2 版和 3 版中,对原书中的错误之处进行了更正,在章节层次安排上做了调整,以满足教学需求。在第 4 版修订时,仍然坚持基本理论的系统性和完整性,强调工程实践性。鉴于材料科学发展的新领域、新思维,我们补充了“准晶体”、超材料、现代热力学、非平衡定态相图等方面的研究成果。在本次第 5 版修订时,考虑到现代科学对物质的研究,在进入分子、原子、量子等微级别后,出现了很多革命性的材料,因此关于材料研发和制造相关的基础知识,如碳的晶体结构与石墨烯、单晶体及制备原理、微晶钢及纳米晶结构、气-固相变及气凝胶等将在有关章节中予以介绍。

全书共分 9 章:第 1~4 章由刘智恩和吕宝桐编写,第 5 章由吕宝桐编写,第 6~7 章由侯晏红编写,第 8~9 章由乔生儒编写。全书由刘智恩主编。

本书由西安交通大学周敬恩教授(第 2,5~8 章),西安交通大学柴东朗教授(第 1,3,4,9 章)担任审稿。

在编写过程中,西北工业大学刘正堂教授提供了大量资料,给予了极大的支持和帮助;西安工业学院严文教授审阅了部分初稿;在编写过程中,参考了大量图书和文献,对这些文献的原作者,在此一并致谢。

我们认为,对教材的不断更新和完善,有利于开拓学生的视野,培养学生的创新意识以及独立思考和勇于实践的能力。

由于水平所限,书中的不足和疏漏在所难免,希望广大读者批评指正。

编 者

2019 年 5 月

第 1 版前言

为了适应材料科学的发展,拓宽知识面,加强基础,同时考虑到按大类招生、培养的需要,在原有的《金属学原理》基础上,参考国内外教学发展趋势,编写了本书。

近些年来,由于现代科学技术的迅猛发展,对材料提出了更高、更新的要求。在专业培养目标上,就材料知识而言,必须从金属材料扩展到陶瓷材料、高分子材料和复合材料。所以,本书是以工程材料为对象,阐述它的基本原理和基础知识,这和那些仅以金属材料为对象的《金属学原理》是不同的。

本书从材料的内部结构探讨其性质与行为,揭示材料结构与性能的内在联系及规律,为认识和提高材料的性能提供必备的基础知识。人们可以从其基本理论出发,指导材料的生产及科研,解决材料使用中的问题。

鉴于金属材料在当今工业材料应用中仍然占据主导地位,金属学相对于其他材料学科更成熟、更严密,理论及研究方法也正在向其他材料学科移植和渗透,所以,保证金属学的分量和教学时数,无论从加强基础和实际应用来说都是必要的。正因为如此,在本书中,涉及陶瓷材料、高分子材料及复合材料的基础知识约占 $2/5$,在教学时数上不超过 $1/4$ 。

本书是材料科学与工程专业本科生一门重要的专业基础课,以介绍工程材料的基础知识为目的,主要包括工程材料中的原子排列、固体中的相结构、凝固与结晶、二元相图、三元相图、固体中的扩散、塑性变形、回复与再结晶、复合效应与界面、固态相变共 10 章。教学中可突出各类材料的共性,注意不同材料中的个性。

本书的主要特点是以常用工程材料为对象,阐述其共性原理;书中选用了较多的例题,有利于学生对基础知识的理解,也有利于培养学生分析问题和解决问题的能力。

本书可作为材料科学与工程专业,金属材料及热处理专业,铸造、焊接、锻造及腐蚀与防护等专业的教材,也可作为有关工程技术人员的参考书。

本书授课时数为 80 学时左右。使用本教材之前,学生应学完“物理化学”、“材料力学”等课程,并初步具有材料生产和使用方面的实践知识。

本书共 10 章。其中,第 1~4 章由西北工业大学刘智恩副教授编写,第 5,6 章由西北工业大学吕宝桐教授编写,第 7,8 章由西北工业大学侯晏红硕士编写,第 9,10 章由西北工业大学乔生儒教授编写。全书由刘智恩副教授主编。

本书由西安交通大学周敬恩教授(第 2,6,7,8,9 章)、西安交通大学柴东朗教授(第 1,3,4,5,10 章)担任审稿。

在编写过程中,西北工业大学刘正堂教授提供了大量资料,给予了极大的支持和帮助;西

安工业学院严文教授、西北工业大学李华伦、杨延清等教授审阅了部分初稿,并提出了宝贵意见;许多有关同志参加了描图及缮写工作,对他们的辛勤劳动,在此一并致谢。

由于水平有限,书中难免存在不足和疏漏,敬请读者批评指正。

编 者

1999 年 9 月

目 录

第 1 章 工程材料中的原子排列	1
1.1 原子键合	1
1.2 原子的规则排列	6
1.3 原子的不规则排列	24
1.4 准晶体	53
习题	54
复习思考题	56
第 2 章 材料中的相结构	57
2.1 固熔体	57
2.2 金属间化合物	63
2.3 陶瓷晶体相	66
2.4 玻璃相	75
2.5 分子相	76
2.6 人工结构	82
习题	84
复习思考题	84
第 3 章 凝固	85
3.1 金属结晶的基本规律	85
3.2 金属结晶的基本条件	87
3.3 晶核的形成	90
3.4 晶体的长大	99
3.5 陶瓷、聚合物的凝固	107
3.6 凝固理论的应用	109
3.7 气-固相变	117
习题	119
复习思考题	120

第 4 章 相图	121
4.1 相、相平衡及相图制作	121
4.2 二元匀晶相图	124
4.3 二元共晶相图	135
4.4 二元包晶相图	146
4.5 其他二元相图	152
4.6 二元相图的分析方法	159
4.7 相图的热力学解释	171
4.8 铸锭(件)的组织与偏析	174
4.9 三元相图	179
4.10 非平衡定态相图	199
习题	202
复习思考题	205
第 5 章 材料中的扩散	207
5.1 扩散定律及其应用	207
5.2 扩散的微观机理	213
5.3 扩散的热力学理论	217
5.4 反应扩散	219
5.5 一些影响扩散的重要因素	221
习题	223
复习思考题	224
第 6 章 塑性变形	226
6.1 金属的应力-应变曲线	226
6.2 单晶体的塑性变形	227
6.3 多晶体的塑性变形	239
6.4 合金的塑性变形	241
6.5 冷变形金属的组织与性能	248
6.6 聚合物的变形	254
6.7 陶瓷材料的塑性变形	257
习题	260
复习思考题	261
第 7 章 回复与再结晶	262
7.1 冷变形金属在加热时的变化	262
7.2 回复	263
7.3 再结晶	266

7.4 再结晶后的晶粒长大	275
7.5 金属的热变形	286
习题.....	293
复习思考题.....	294
第8章 固态相变	296
8.1 固态相变的特点	296
8.2 固态相变的形核	299
8.3 固态相变的晶核长大	301
8.4 扩散型相变示例	304
8.5 无扩散型相变	309
8.6 贝氏体型相变	316
习题.....	317
复习思考题.....	318
第9章 复合效应与界面	319
9.1 材料复合、增强体及复合效应.....	319
9.2 复合材料增强原理	325
9.3 复合材料的界面	335
习题.....	340
复习思考题.....	341
附录	342
附录 A 本书所用到的物理常数	342
附录 B 有关元素资料表	343
附录 C 有关工程材料的性质 (20 °C)	345
附录 D 法定计量单位	347
参考文献	350

第 1 章 工程材料中的原子排列

工程上最广泛应用的材料多为晶体,它们的许多性能都与其内部原子排列有关。因此,作为材料科学工作者,首先要熟悉固体中原子的排列方式和分布规律,其中包括固体中的原子是如何相互作用并结合起来的、晶体的特征及其描述方法、晶体结构的特点、各种晶体间的差异、以及晶体结构中缺陷的类型及性质等。这些都是本章要重点介绍的内容。这些不仅是学习材料科学课程的基础,也是学习其他专业课程(如 X 射线衍射、电子衍射等)必不可少的基础。

1.1 原子键合

在固态下,当原子(离子或分子)聚集为晶体时,原子(离子或分子)之间产生较强的相互作用,这种相互作用力就称为结合力,也称为结合键。由电子运动使原子产生聚集的结合力称为化学键。固体中的结合键主要是化学键,其大小与原子的结构有关。不同类型的原子之间,具有不同性质的结合键。固体中的结合键可以分为金属键、共价键和离子键三种化学键,以及分子键、氢键等物理键。

1.1.1 固体中原子的结合键

1.1.1.1 金属键

金属元素的原子失去最外层价电子后就变成带正电的离子,被失去的电子则形成围绕离子运动的“电子云”,如图 1-1 所示。脱离原子的价电子,已不再与某一特定的正离子相互吸引,而是在电子云中自由运动,成为被若干个正离子相吸引的电子。通过正离子与电子之间相互吸引,这些正离子与电子结合起来。这种结合力就是金属键。

当金属发生弯曲等变形时,原子将改变它们彼此之间的位置,但并不破坏键,因此金属具有良好的塑性。在电压作用下,价电子将发生运动,因而金属有良好的导电性。正离子在热的作用下,震荡加剧并传递热量,因而金属有良好的导热性。

1.1.1.2 共价键

一些陶瓷和聚合物是通过共价键使其原子结合在一起的。

以硅为例,如图 1-2 所示。1 个 4 价的硅原子,与其周围 4 个硅原子共享最外层的电子,从而使每个硅原子最外层获得 8 个电子。1 个共有电子代表 1 个共价键,所以 1 个硅原子有 4 个共价键与 4 个邻近的硅原子结合。

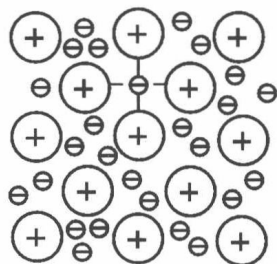


图 1-1 金属原子正常堆积时的金属键及其电子云

通常两个相邻原子只能共用一对电子。一个原子的共价键数,即与它共价结合的原子数,最多只能等于 $8-N$ (N 表示这个原子最外层的电子数),所以共价键具有明显的饱和性。另外,在共价晶体中,原子以一定的角度相邻接,各键之间有确定的方位,故共价键有着强烈的方向性。

共价键的结合力很大,所以共价晶体具有强度高、硬度大、脆性大、熔点高等性质,结构也比较稳定。受力时要么不变形,要么键被破坏使材料破坏和断裂。

1.1.1.3 离子键

部分陶瓷材料(如 MgO , Al_2O_3 , ZrO_2 等)是依靠离子键将原子堆积排列在一起。在元素周期表(见表 1-1)中,当相隔较远的一正电性元素原子和一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。正离子和负离子由于静电引力相互吸引,当它们充分接触时会产生排斥,引力和斥力相等时即形成稳定的离子键。

氯化钠晶体是靠离子键结合的晶体,如图 1-3 所示。图中表明,Na 的外层电子贡献给 Cl,Na 变为带正电的离子,而内层电子数为 8,是满层电子数;Cl 接受 1 个电子,变为带负电的离子,并使外层电子数为 8,也是满层电子数。所以,1 个 Na 原子和 1 个 Cl 原子依正负离子间的吸引力而结合在一起。

离子键的结合力很大,所以离子晶体的硬度高,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,故离子晶体都是良好的绝缘体。

1.1.1.4 分子键(范德瓦耳斯力)

有些物质,如塑料、陶瓷等,它们的分子或原子团往往具有极性,即分子中的一部分带正电,而另一部分带负电。一个分子带正电的部位,同另一个分子带负电的部位之间就存在比较弱的静电吸引力,这种吸引力就称为范德瓦耳斯力。这种存在于中性原子或分子之间的结合力称为分子键。如高分子材料聚氯乙烯,是由 C, H, Cl 构成的大分子,如图 1-4 (a) 所示。图中一个大分子链的内部,如 C—C 原子之间,主要由共价键结合,而两侧的 H 原子带正电,也可以是 Cl 原子并带负电。在两个大分子链之间,带正电的 H 原子和带负电的 Cl 原子存在着微弱的静电引力,即为范德瓦耳斯力。

由于范德瓦耳斯力很弱,分子晶体的结合力很小,所以在外力作用下,易产生滑动并造成很大的变形,如图 1-4(b) 所示。分子晶体熔点很低,硬度也很低。这种引力在其他化学键晶体中也可以存在,但常忽略不计。

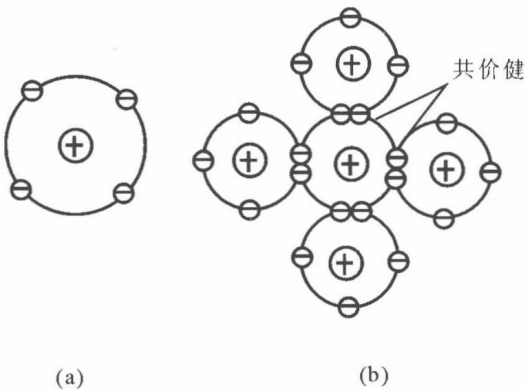


图 1-2 硅的共价键
(a) 硅原子; (b) 硅的 4 个共价键

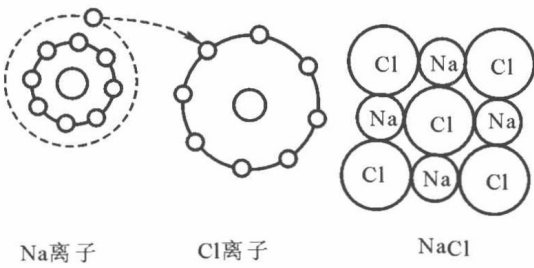


图 1-3 NaCl 的离子键

表1-1 元素周期表

周期	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	族数	电子层
1	H 1 1s ¹	He 2 1s ²																1
2	Li 3 2s ¹	Be 4 2s ²	B 5 2s ² 2p ¹	C 6 2s ² 2p ²	N 7 2s ² 2p ³	O 8 2s ² 2p ⁴	F 9 2s ² 2p ⁵	Ne 10 2s ² 2p ⁶										2
3	Na 11 3s ¹	Mg 12 3s ²	Al 13 3s ² 3p ¹	Si 14 3s ² 3p ²	P 15 3s ² 3p ³	S 16 3s ² 3p ⁴	Cl 17 3s ² 3p ⁵	Ar 18 3s ² 3p ⁶										3
4	K 19 4s ¹	Ca 20 4s ²	Sc 21 3d ¹ 4s ²	Ti 22 3d ² 4s ²	V 23 3d ³ 4s ²	Cr 24 3d ⁵ 4s ¹	Mn 25 3d ⁵ 4s ²	Fe 26 3d ⁶ 4s ²	Co 27 3d ⁷ 4s ²	Ni 28 3d ⁸ 4s ²	Ga 31 4s ² 4p ¹	Ge 32 4s ² 4p ²	As 33 4s ² 4p ³	Se 34 4s ² 4p ⁴	Br 35 4s ² 4p ⁵	Kr 36 4s ² 4p ⁶		4
5	Rb 37 5s ¹	Sr 38 5s ²	Y 39 4d ¹ 5s ²	Zr 40 4d ² 5s ²	Nb 41 4d ⁴ 5s ¹	Mo 42 4d ⁵ 5s ¹	Tc 43 4d ⁵ 5s ²	Ru 44 4d ⁷ 5s ¹	Rh 45 4d ⁸ 5s ¹	Pd 46 4d ¹⁰	In 49 5s ² 5p ¹	Sn 50 5s ² 5p ²	Sb 51 5s ² 5p ³	Te 52 5s ² 5p ⁴	I 53 5s ² 5p ⁵	Xe 54 5s ² 5p ⁶		5
6	Cs 55 6s ¹	Ba 56 6s ²	La 57-71 4f ⁰⁻¹⁴ 5d ¹ 6s ²	Hf 72 5d ² 6s ²	Ta 73 5d ³ 6s ²	W 74 5d ⁴ 6s ²	Re 75 5d ⁵ 6s ²	Os 76 5d ⁶ 6s ²	Ir 77 5d ⁷ 6s ²	Pt 78 5d ⁹ 6s ¹	Pb 82 6s ² 6p ²	Bi 83 6s ² 6p ³	Po 84 6s ² 6p ⁴	At 85 6s ² 6p ⁵	Rn 86 6s ² 6p ⁶			6
7	Fr 87 7s ¹	Ra 88 7s ²	Ac 89-103 4f ⁰⁻¹⁴ 5d ¹ 6s ²	Rf 104 5d ² 6s ²	Hf 105 5d ³ 6s ²	Ta 106 5d ⁴ 6s ²	Bh 107 5d ⁵ 6s ²	Hs 108 5d ⁶ 6s ²	Uun 110 5d ¹⁰ 6s ²	Uub 112 5d ¹⁰ 6s ²								7

注：1.原子量取自1997年国际原子量表，以¹²C=12为基准。原子量末位数的准确度加注在其后括号内。

2.商品Li的原子量范围为6.94~6.99。

元素名称

注：*是人造元素

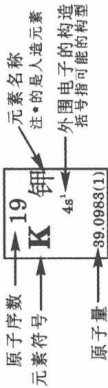
原子序数 → **K** **19** **钾** **4s¹**

元素符号 → **K**

外围电子的构造

原子量 → **39.0983(1)**

注：
1. 原子量取自1997年国际原子量表，以¹²C=12为基准。原子量末位数的准确度加注在其后括号内。
2. 商品Li的原子量范围为6.94-6.99。



镧系	La 57 5d ¹ 6s ²	Ce 58 4f ¹ 5d ¹ 6s ²	Pr 59 4f ³ 6s ²	Nd 60 4f ⁴ 6s ²	Pm 61 4f ⁵ 6s ²	Sm 62 4f ⁶ 6s ²	Eu 63 4f ⁷ 6s ²	Gd 64 4f ⁷ 5d ¹ 6s ²	Tb 65 4f ⁹ 6s ²	Dy 66 4f ¹⁰ 6s ²	Ho 67 4f ¹¹ 6s ²	Er 68 4f ¹² 6s ²	Tm 69 4f ¹³ 6s ²	Yb 70 4f ¹⁴ 6s ²	镥 71 4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ²
锕系	Ac 89 6d ¹ 7s ²	Th 90 6d ² 7s ²	Pa 91 5f ² 6d ¹ 7s ²	U 92 5f ³ 6d ¹ 7s ²	Np 93 5f ⁴ 6d ¹ 7s ²	Pu 94 5f ⁶ 7s ²	Am 95 5f ⁷ 7s ²	Cm 96 5f ⁷ 6d ¹ 7s ²	Bk 97 5f ⁹ 7s ²	Cf 98 5f ¹⁰ 7s ²	Es 99 5f ¹¹ 7s ²	Fm 100 5f ¹² 7s ²	Md 101 5f ¹³ 7s ²	No 102 5f ¹⁴ 7s ²	Lr 103 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²

1.1.1.5 氢键

在含氢的物质中,分子都是通过极性共价键结合,原子之间则是通过氢键连接的。氢键的产生主要是由于氢原子与某一原子形成共价键时,共有电子向这个原子强烈偏移,使氢原子几乎变成一半径很小的带正电荷的核,而这个氢原子还可以和另一个原子相吸引,形成附加的键,因此氢键是一种较强的、有方向性的范德瓦耳斯键。氢键的结合力比离子键、共价键等小得多。

以上简单地讨论了结合键的类型及其本质。表 1-2 列出了各种结合键的主要特点及实例。

表 1-2 各种结合键的比较

结合键类型	实 例	结 合 能		主 要 特 征
		kcal/mol*	eV/mol	
离子键	LiCl	199	8.63	非方向键,高配位数,低温不导电,高温离子导电
	NaCl	183	7.94	
	KCl	166	7.20	
	RbCl	159	6.90	
共价键	金刚石	170	1.37	空间方向键,低配位数,纯晶体在低温下导电率很小
	Si	108	1.68	
	Ge	89	3.87	
	Sn	72	3.11	
金属键	Li	37.7	1.63	非方向键,配位数及密度都极高,导电率高,延性好
	Na	25.7	1.11	
	K	21.5	0.931	
	Rb	19.6	0.852	
分子键	Ne	0.46	0.020	低的熔点和沸点,压缩系数大,保留了分子的性质
	Ar	1.79	0.078	
	Kr	2.67	0.116	
	Xe	3.92	0.170	
氢键	H ₂ O(冰)	12	0.52	结合力高于无氢键的类似分子
	HF	7	0.30	

* 1 kcal=4.18 kJ。

从以上讨论可以看出,金属键、共价键和离子键都涉及原子外层电子的重新分布,这些电子在键合后不再仅仅属于原来的原子,故这三种键都称为化学键。相反,在形成分子键和氢键时,原子的外层电子分布没有变化或变化极小,它们仍然属于原来的原子,故这两种键称为物理键。一般来说,化学键最强,氢键次之,分子键最弱。

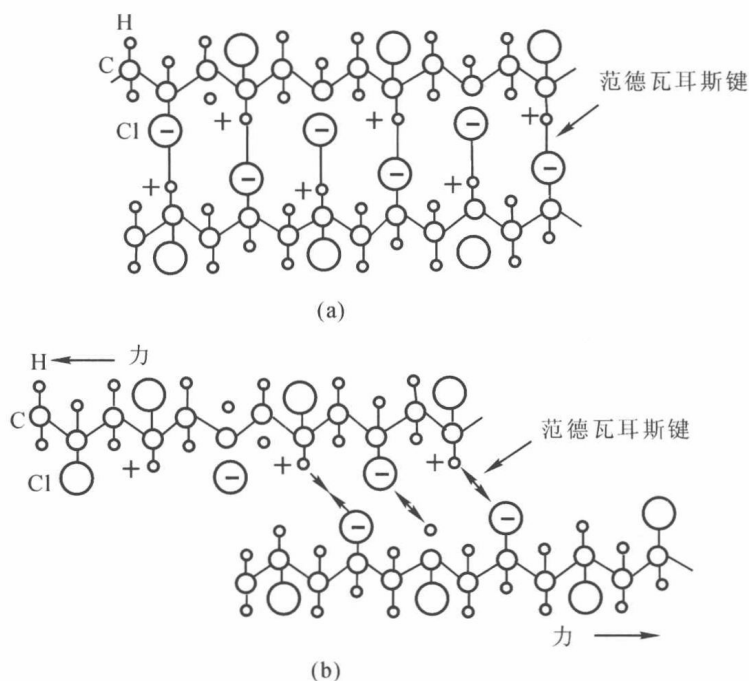


图 1-4 聚氯乙烯中的结合键

(a) 聚氯乙烯中的范德瓦耳斯键； (b) 聚氯乙烯受力后易变形

1.1.2 工程材料的分类

固体材料可以有各种不同的分类方法。工程上主要根据固体中结合键的特点或本性进行分类。主要用于制作结构、机件和工具等的固体材料称为工程材料，它可分为金属材料、陶瓷材料、高分子材料和复合材料四大类，如表 1-3 所示。

表 1-3 工程材料的分类

工程材料	金属材料	黑色金属	钢 铸铁
		有色金属	轻金属 (Al, Mg, Ti 及其合金) 重金属 (Ni, Mo 及其合金)
	陶瓷材料	普通陶瓷	
		特殊陶瓷	
	高分子材料	金属陶瓷	
		工程塑料	
		橡胶	
	复合材料	合成纤维	
		非金属基复合材料	
		金属基复合材料	

在这四类工程材料中，金属材料应用范围最广、用量最大、承载能力最高。有色金属中的轻合金在航空工业中有着特别重要的意义。

陶瓷材料是指硅酸盐、金属同非金属元素的化合物，如氧化物、氮化物等。工业上用的陶瓷材料可分为三类：

- (1) 普通陶瓷,即硅、铝的氧化物以及硅酸盐。
- (2) 特种陶瓷,是人工氧化物、碳化物、氮化物和硅化物等的烧结材料。
- (3) 金属陶瓷,是金属粉末与陶瓷粉末烧结的材料。

陶瓷的最大特点是有高的硬度、高的耐磨性、高的耐蚀性和高的抗氧化能力,其最大弱点是塑性极低、太脆,所以很少在常温下作为受力的结构材料,但作为耐温材料,陶瓷潜力很大。

高分子材料是由许多相对分子质量很大的大分子组成。在工程应用中,根据性能和使用状态,高分子材料可分为工程塑料、橡胶和合成纤维。

复合材料就是由两种或两种以上固体物质组成的材料。复合材料的性能是组成它的任何单一材料所不具备的,例如玻璃钢,是由玻璃纤维布与热固性高分子材料复合而成的,而玻璃钢的性能,既不同于玻璃纤维,也不同于组成它的高分子材料。目前作为工程材料使用的复合材料主要有两类,一是树脂基复合材料,二是金属基复合材料。这两类材料在建筑、机械制造、交通和国防等方面有着重要的发展前景。

1.2 原子的规则排列

1.2.1 晶体学基础

1.2.1.1 晶体

自然界中绝大多数固体都是晶体。天然晶体一般具有规则的几何外形,例如食盐(NaCl)结晶成立方体形。所谓晶体,是指原子(分子)在三维空间按一定规律作周期性排列的固体。相反,非晶体(如玻璃、松香)中原子则是散乱分布或仅有局部区域为短程规则排列。

晶体与非晶体由于原子排列不同在性能上表现出较大的差异。例如,晶体具有确定的熔点,它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,而非晶体从液态冷却时尚未来得及变成晶体就凝固了,因此固态下的非晶体具有液态时的原子排列。另外,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,此即晶体的各向异性,而非晶体则是各向同性的。表1-4列出几种常用金属沿其不同方向测得的力学性能。

表 1-4 单晶体的各向异性

类 别	弹性模量/MPa		抗拉强度/MPa		延伸率/(%)	
	最 大	最 小	最 大	最 小	最 大	最 小
Cu	191 000	66 700	346	128	55	10
α -Fe	293 000	125 000	225	158	80	20
Mg	50 600	42 900	840	294	220	20

1.2.1.2 晶体结构与空间点阵

晶体的基本特征是原子排列的规则性。这些由实际原子、离子、分子或各种原子集团,按一定几何规律的具体排列方式称为晶体结构或称为晶体点阵。

假定理想晶体中的原子都是固定不动的刚球,则晶体可被认为是由这些刚球堆积而成的,如图1-5(a)所示。为了便于研究,常将构成晶体的实际质点(原子、离子、分子或原子集团)

的体积忽略,抽象成为纯粹的几何点,称之为阵点或节点。在“抽象”时,必须使每个阵点周围具有相同的环境。这种由周围环境相同的阵点在空间排列的三维列阵称为空间点阵。若用平行直线将空间点阵的各阵点连接起来,就构成一个三维的空间格架(见图1-5(b))。这种用以描述晶体中原子排列规律的空间格架称为晶格。

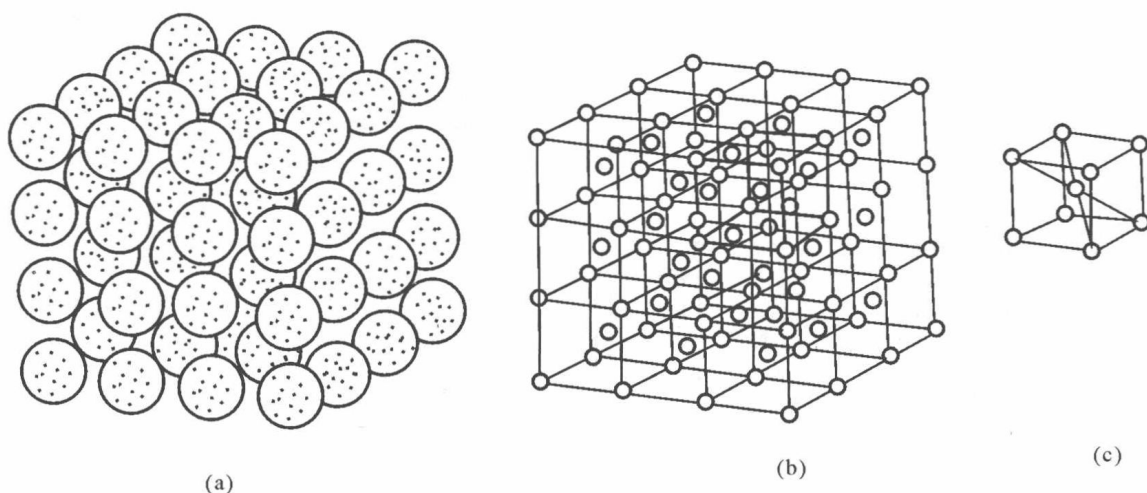


图1-5 晶体中原子排列示意图

(a) 原子堆垛模型; (b) 晶格; (c) 晶胞

由于晶体中原子排列具有周期性,故可从晶格中选取一个能够完全反映晶格特征的最小几何单元,这个最小的几何单元称为晶胞(见图1-5(c))。通常是在晶格中取一个最小的平行六面体作为晶胞(见图1-6),这种晶胞在空间重复堆垛就得到空间点阵。

为了表示晶胞的形状和大小,可通过晶胞角上的某一阵点,沿其3个棱边作坐标轴 x, y, z (称为晶轴),坐标轴的顺序按右螺旋规则(也可以按左螺旋规则)。晶胞的形状和大小可由其3个棱边的长度 a, b, c (称为点阵常数,其单位为nm)和晶轴之间的夹角 α, β, γ 6个参数表达出来,如图1-6所示。

晶胞的选取原则主要有三条:一是能充分反映空间点阵的对称性;二是 α, β, γ 尽可能为直角;三是体积应尽可能小(但不一定是最小)。

如果在点阵晶胞的范围内,标出相应晶体结构中各原子的位置,这部分原子构成了晶体结构中有代表性的部分,含有这一附加信息的晶胞称为结构晶胞。这种晶胞在空间重复堆垛,就得到晶体结构。通常把点阵晶胞与结构晶胞都称为晶胞,但这两者是有区别的。

1.2.1.3 布拉菲点阵

自然界中的晶体有成千上万种,它们都有各自的晶体结构。为了研究方便,引入了“空间点阵”的概念。那么,空间点阵有多少种呢?法国晶体学家布拉菲(A. Bravais)于1848年用数学方法证明空间点阵只能

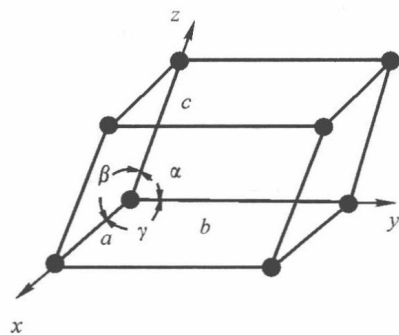


图1-6 晶胞、晶轴