

高等学校轻工专业试用教材

工程材料

王万智 主编

轻工业出版社

内 容 简 介

本书从工程材料（包括非金属材料）的化学结构和分子、原子的结合规律来揭示工程材料的性能变化，又以此来寻求各材料的性能变化规律。

本书共分12章，各章都重点论述工程材料的性能与各自的成分、组织结构以及加工工艺间的关系。

本书为轻工机械专业教材，也可供有关技术人员参考。

高等学校轻工专业试用教材

工 程 材 料

王万智 主编

轻工业出版社出版

（北京广安门南滨河路25号）

轻工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

787×1092毫米1/16 印张，18⁴/16 字数，405 千字

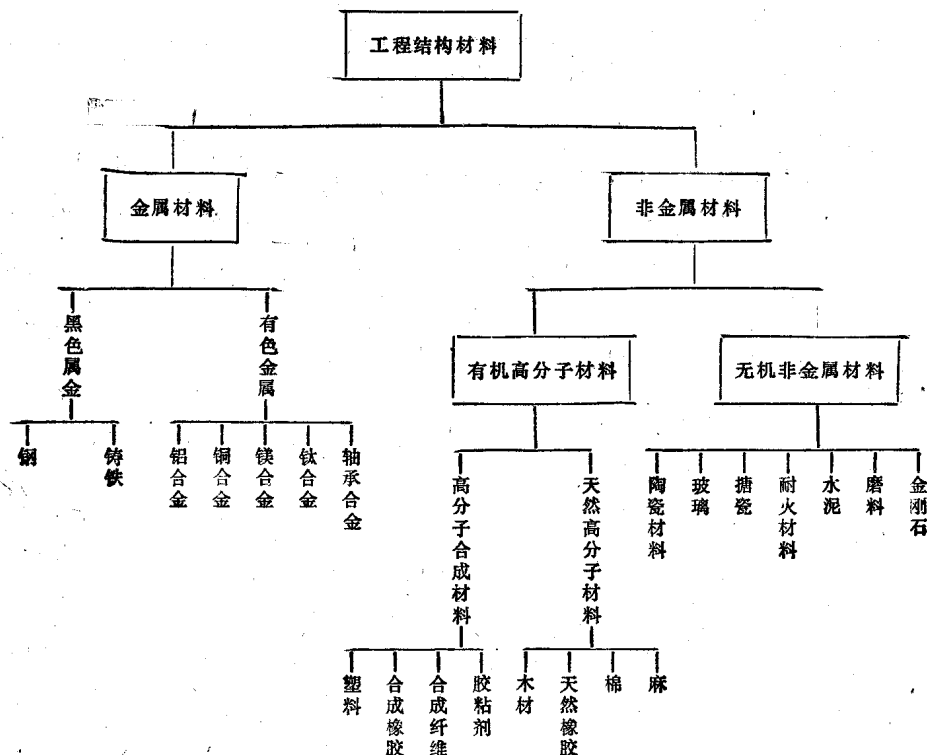
1989年9月 第一版第一次印刷

印数：1—1,000 定价：3.40元

ISBN7—5019—0669—6/TB·003

前言

随着科学技术的高速发展和对材料性能的要求愈来愈高，材料、能源和信息作为现代技术的三大支柱发展格外迅猛。在材料科学中，近20多年来，金属与非金属相互渗透，并且相互结合，组成一个门类繁多的材料体系。常用工程结构材料可概括如下：



金属材料，主要包括钢、铸铁和铝、铜、钛、镍及其合金。钢和铸铁是以铁和碳为主的合金，统称为黑色金属，其余的金属及其合金，称为有色金属。

金属材料是目前工农业生产、国防、科学技术中最重要的工程材料，这是由于它品种繁多，而且具有很多优良性能，如良好的导电，导热性能，好的塑性、焊接性和铸造性能、特别是有好的机械性能，如强度高，韧性好，耐磨，耐高温等一系列性能。正由于这样，金属材料目前仍然在不断地扩大它的品种、数量及应用范围。

无机非金属材料主要包括陶瓷、搪瓷、玻璃、耐火材料、水泥、磨料等材料，有机高分子材料又可分为天然高分子材料和高分子合成材料。

各种材料之间的差别极为悬殊。它们均有各自的适用范围，作为培养机械制造和设计的冷加工各专业的教材。如何把这些材料方面的知识介绍给学生，是非常迫切的任务。

本书企图从工程材料的化学结构和分子原子的结合规律来揭示工程材料性能变化。从它们各自的分子、原子的结合规律来寻求各自性能的变化规律。本书各章的重点是讨论工程材料的性能与各自的成分、组织、结构以及加工工艺之间的关系，以培养冷加工专业的学生具有合理选用工程材料、妥善安排冷热加工工艺路线的初步能力。

本书计量单位采用国际单位制。如强度单位一律用 MN/m^2 （兆牛/米²）表示。它同以往采用的单位 kgf/mm^2 （公斤力/毫米²）的关系为： $1\text{MN/m}^2 \approx 0.1\text{kgf/mm}^2$ ；冲击韧性 a_K 的单位用 J/cm^2 （焦/厘米²）表示，它与以往采用的单位 $\text{kgf}\cdot\text{m/cm}^2$ （公斤力·米/厘米²）的关系为： $1\text{J/cm}^2 \approx 0.1\text{kgf}\cdot\text{m/cm}^2$ 。硬度值仍然沿用原来单位，但通常不予标注。

本书在编写过程中，曾得到许多兄弟院校的热情帮助和支持。全书由王万智主编，由西北轻工业学院詹啟贤教授主审，黄梦华等同志也为本书的编写作了大量的工作，谨在此深表感谢。

由于我们水平有限，书中缺点和错误一定不少，恳望广大读者批评指正。

编者 王万智

目 录

第一章 概 论

§1-1 工程材料发展概况	(1)
§1-2 工程材料的研究方法简介	(2)
§1-3 固态原子的结合键	(2)
一、原子间的相互作用力	(2)
二、金属键和金属晶体	(3)
三、离子键和离子晶体	(6)
四、共价键和共价晶体	(7)
五、分子键和分子型晶体	(7)
六、混合键型晶体	(8)
七、晶体结构对性能的影响	(9)
§1-4 组织特征与性能的关系	(10)
§1-5 工程材料的分类	(12)
一、金属材料	(12)
二、陶瓷材料	(13)
三、高分子材料	(13)
四、复合材料	(13)

第二章 金属的塑性变形与再结晶

§2-1 金属晶体的各向异性	(16)
一、晶面指数和晶向指数	(16)
二、晶面及晶向的原子密度	(17)
§2-2 实际金属的晶体结构	(18)
一、单晶体与多晶体	(19)
二、实际金属的晶体结构	(19)
§2-3 金属的结晶过程	(21)
一、结晶的基本概念	(21)
二、金属的结晶过程——生核和成长	(22)
三、铸锭组织及其缺陷	(22)
四、金属的同素异构转变	(24)
§2-4 金属的冷塑性变形与加工硬化	(24)
一、金属塑性变形的机理	(25)

二、塑性变形对组织和性能的影响.....	(26)
§2-5 冷压力加工后的中间退火	(27)
一、回复与再结晶	(27)
二、影响再结晶晶粒度的因素	(28)
§2-6 金属的热加工	(29)
一、金属的热加工和冷加工的基本概念	(29)
二、金属热加工时组织和性能的变化	(29)
三、纤维组织的正确使用	(30)

第三章 合金的相结构与二元相图

§3-1 基本概念	(33)
§3-2 合金的相结构	(33)
一、固溶体	(34)
二、金属化合物	(35)
§3-3 二元合金相图	(37)
一、二元相图的建立	(37)
二、无限互溶的匀晶相图	(38)
三、有限互溶的共晶相图	(40)
四、包晶相图	(43)
§3-4 相图在选材中的应用	(44)
一、二元相图的看图方法	(45)
二、匀晶相图与性能的关系	(47)
三、共晶相图与性能的关系	(48)
§3-5 铁碳相图在选材用材中的应用	(51)
一、铁碳合金的基本组织	(51)
二、相变温度 (727℃) 以下时的组织和性能变化	(53)
三、相变温度 (727℃) 以上时的组织和性能变化	(55)
§3-6 相图应用的局限性	(57)
一、其它元素对相图的影响	(57)
二、相图没有反映时间的作用	(58)
三、相图不能反映出组织的形态、大小和分布的均匀度	(59)

第四章 钢的热处理

§4-1 钢在加热、保温时的组织转变	(60)
§4-2 钢在冷却时的组织转变	(62)
一、奥氏体等温转变曲线	(63)
二、奥氏体连续冷却曲线	(65)
三、影响C曲线的主要因素	(66)

§4-3 淬硬性和淬透性.....	(68)
一、淬硬性概念.....	(68)
二、淬透性概念.....	(69)
三、淬透性的测定及其应用举例.....	(70)
四、设计选材时如何考虑钢的淬透性.....	(72)
§4-4 钢在回火时的转变.....	(73)
一、回火转变的四个阶段.....	(73)
二、回火时钢的性能变化.....	(74)
三、合金元素对回火稳定性的影响.....	(76)
§4-5 钢的退火和正火.....	(76)
一、退火.....	(76)
二、正火(常化).....	(77)
§4-6 钢的淬火与回火.....	(78)
一、钢的淬火.....	(78)
二、钢的回火.....	(81)
三、钢的冰冷处理.....	(81)
§4-7 C曲线的形式与热处理的关系.....	(82)
§4-8 钢的化学热处理.....	(84)
一、钢的渗碳.....	(84)
二、渗氮(又称氮化).....	(88)
三、气体碳氮共渗.....	(89)
四、气体软氮化.....	(90)
§4-9 热处理的变形和开裂.....	(90)
一、内应力及其变形规律.....	(90)
二、零件淬火变形实例.....	(93)
三、影响变形的的主要因素.....	(94)
四、淬火裂纹.....	(95)
五、减少变形和防止裂纹的主要措施.....	(96)

第五章 碳钢和合金钢

§5-1 碳在钢中的作用.....	(102)
§5-2 合金元素在钢中的作用.....	(106)
§5-3 杂质元素的影响.....	(110)
一、锰和硅的影响.....	(110)
二、硫和磷的影响.....	(110)
三、其它杂质元素的影响.....	(111)
§5-4 钢的分类和表示方法.....	(112)
一、钢的分类.....	(112)

二、钢的表示方法.....	(113)
§5-5 结构钢.....	(114)
一、结构钢的合金化及其热处理.....	(115)
二、同一材料的多用性.....	(116)
三、易削钢简介.....	(117)
四、工程结构钢.....	(117)
§5-6 工具钢.....	(120)
一、硬度、耐磨性与碳化物的关系.....	(121)
二、成分特点.....	(121)
三、热处理方法特点.....	(122)
四、实例分析.....	(122)
五、常用工具钢简介.....	(126)

第六章 特殊性能钢

§6-1 钢的腐蚀.....	(128)
一、腐蚀的分类及其破坏形式.....	(128)
二、电化学腐蚀的原因.....	(129)
三、提高金属抗腐蚀的主要途径.....	(130)
§6-2 合金元素在不锈钢中的作用.....	(130)
一、合金元素可以有效地改变二元相图的形状.....	(130)
二、几种主要合金元素在不锈钢中的作用.....	(132)
§6-3 常用不锈钢的特性及其热处理.....	(134)
一、铁素体类不锈钢.....	(134)
二、马氏体类不锈钢.....	(137)
三、奥氏体不锈钢.....	(138)
四、两(复)相不锈钢.....	(142)
§6-4 耐热钢及耐热合金.....	(142)
一、提高钢的热稳定性的途径.....	(143)
二、提高热强性的途径.....	(143)
三、耐热钢合金化的特点.....	(144)
四、耐热钢的选用.....	(145)
五、镍基耐热合金简介.....	(146)
§6-5 低温用钢.....	(146)
一、钢的冷脆性评定方法.....	(148)
二、影响钢冷脆性转变温度的因素.....	(148)
三、低温用钢简介.....	(150)

第七章 铸 铁

§7-1 铸铁和碳钢的比较.....	(153)
§7-2 铸铁中的石墨化过程.....	(156)
一、铸铁的石墨化过程.....	(156)
二、影响石墨化程度的主要因素.....	(157)
三、石墨形态的控制.....	(159)
§7-3 基体组织对铸铁性能的影响.....	(160)
§7-4 铸铁的牌号、性能及用途.....	(161)
§7-5 蠕墨铸铁简介.....	(163)
§7-6 特殊性能铸铁.....	(163)
一、耐磨铸铁.....	(163)
二、耐蚀铸铁.....	(164)
三、耐热铸铁.....	(167)

第八章 有色金属及其合金

§8-1 铝及其合金.....	(169)
一、铝及其合金的分类和编号.....	(169)
二、铝的合金化.....	(170)
三、形变铝合金的热处理.....	(172)
四、铸造铝合金热处理工艺特点.....	(174)
§8-2 铜及其合金.....	(175)
一、紫铜(工业纯铜).....	(175)
二、铜的合金化.....	(176)
三、铜及其合金的编号.....	(176)
四、黄铜.....	(177)
五、青铜.....	(179)
六、白铜.....	(181)
七、铜及其合金的热处理.....	(182)
§8-3 钛及其合金.....	(183)
一、钛的组织 and 性能.....	(183)
二、钛合金.....	(184)
§8-4 铅及其合金.....	(186)
§8-5 滑动轴承合金.....	(186)
一、轴承材料必须具备的特征.....	(186)
二、常用的轴承合金.....	(187)
§8-6 粉末冶金材料.....	(189)
一、粉末冶金简介.....	(189)

二、铁基结构零件.....	(189)
三、含油轴承.....	(194)
四、硬质合金.....	(196)

第九章 高分子材料

§9-1 高分子材料的结构.....	(200)
一、高分子材料的基本概念.....	(200)
二、大分子结构与形态.....	(201)
三、聚集态结构及它对性能的影响.....	(202)
四、高聚物的三种物理状态.....	(203)
§9-2 高分子材料的性能.....	(205)
一、高弹性.....	(205)
二、比强度高.....	(205)
三、隔热、绝缘、吸震、耐腐蚀、耐磨.....	(206)
四、加工成型性好.....	(206)
五、弹性模量低、极易蠕变和应力松弛.....	(207)
§9-3 高分子材料的老化.....	(208)
一、老化现象.....	(208)
二、引起老化的主要原因.....	(208)
三、防止老化的主要措施.....	(210)
§9-4 常用工程塑料简介.....	(211)
一、塑料的组成、分类.....	(211)
二、热塑性塑料.....	(212)
三、热固性塑料.....	(219)
§9-5 塑料在机械工程中的应用举例.....	(221)
一、塑料齿轮.....	(221)
二、塑料轴承.....	(222)
三、塑料在化工容器方面的使用.....	(225)
§9-6 塑料在包装工业上的应用.....	(225)
§9-7 橡胶在工业上的应用.....	(230)
一、骨架材料.....	(232)
二、颗粒材料强化橡胶.....	(233)
三、橡胶-橡胶共混物.....	(233)

第十章 陶瓷材料

§10-1 硅酸盐晶体结构简介.....	(234)
一、硅酸盐晶体结构特点.....	(234)
二、组群状结构.....	(235)

三、链状结构.....	(236)
四、层状结构.....	(236)
五、架状结构.....	(236)
六、岛状结构.....	(237)
§10-2 熔融态和玻璃态	(237)
一、玻璃态的特性.....	(237)
二、玻璃.....	(239)
三、玻璃纤维.....	(240)
§10-3 陶瓷材料的力学性能	(240)
一、弹性模量高.....	(241)
二、硬度高.....	(241)
三、几乎没有塑性.....	(243)
四、常温时脆性断裂和高温时的蠕变断裂.....	(243)
五、理论断裂强度.....	(244)
§10-4 陶瓷材料的抗热震性能	(245)
一、抗热震性的评定方法.....	(245)
二、内应力.....	(245)
三、影响抗热震性的因素.....	(246)
§10-5 陶瓷材料的电导及抗电强度	(247)
一、材料的电阻率及其电导.....	(247)
二、陶瓷材料的电导特性.....	(248)
三、陶瓷材料的抗电强度.....	(249)
§10-6 陶瓷材料的其它性能和用途	(251)
§10-7 各种陶瓷简介	(251)
一、耐酸陶瓷.....	(251)
二、过滤陶瓷.....	(251)
三、透明瓷.....	(251)
四、电解质瓷、低压和高压电瓷.....	(251)
五、高温、高强度、耐磨、耐腐蚀瓷.....	(252)
六、选用和使用陶瓷材料注意事项.....	(252)

第十一章 复 合 材 料

§11-1 概述	(253)
§11-2 复合材料增强机理简介	(255)
§11-3 纤维复合材料简介	(258)
一、玻璃纤维增强塑料.....	(258)
二、碳纤维-树脂复合材料.....	(259)
三、植物纤维复合材料.....	(259)

§11-4 复合薄膜及其复合方法简介	(260)
一、湿法复合	(261)
二、干法复合	(261)
三、挤出复合	(262)
四、热熔复合	(262)
五、共挤出复合	(262)
六、其他复合方法	(262)

第十二章 机械零件的失效及材料的选用

§12-1 选材的基本原则	(263)
§12-2 材料的使用性能与选材	(264)
§12-3 材料的工艺性能与选材	(266)
一、工程材料的加工工艺路线	(266)
二、工程材料工艺性能分析	(267)
§12-4 材料的经济性与选材	(268)
§12-5 零件的失效简介	(268)
一、设计与失效	(269)
二、材料与失效	(271)
三、加工与失效	(271)
§12-6 零件失效分析的一般方法	(273)
§12-7 典型零件选材举例	(274)
一、工程材料应用概况	(274)
二、壳体类零件的选材	(274)
三、轴类零件的选材及其热处理	(276)
四、齿轮类零件的选材及其热处理	(279)

第一章 概 论

§1-1 工程材料发展概况

材料是人类生产的物质基础。人类社会的发展历史证明,生产中使用材料的性质直接反映人类社会的文化科学水平。所以,历史学家根据制造生产工具的材料,将人类生活的时代划分为石器时代、青铜器时代、铁器时代。而今人类正跨进人工合成材料的新时代。

由古猿到原始人的漫长发展过程中,石器一直是主要的工具。在六七千年以前的原始社会末期,我们的祖先开始用火烧制陶器。殷、周时期发明了釉陶、炉窑温度高达 1200°C 。到东汉出现瓷器,并于9世纪传至阿拉伯,12世纪传到日本,15世纪传至欧洲。瓷器成为中国文化的象征,对世界文化有很大的影响。

制陶技术的发展,为炼铜准备了必要的条件。我国青铜的冶炼在夏以前就开始了,虽然晚于古埃及和西亚,但发展较快,到殷、西周时期已发展到较高的水平,普遍用于制造各种工具、食器、兵器。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多万吨。湖北随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。

由青铜器过度到铁器是生产工具的重大发展。我国从春秋战国时期开始就大量使用铁器,推动了奴隶社会向封建社会过渡。我国古代创造了三种炼钢方法:一是从矿石中直接炼出自然钢。用这种钢作的剑在东方各国享有盛誉,东汉时传入欧洲;二是西汉时期经过“百次”冶炼锻打的百炼钢;三是南北朝时期的灌钢。先炼铁后炼钢的两步炼钢技术,我国要比其它国家早1600多年。从西汉到明朝的一千五六百年间,我国钢铁生产技术远远超过世界各国,相应地,其它金属材料的工艺技术也都有高度的发展,留下了大量的珍贵文物和历史文献。

在材料领域中还值得提到的是丝绸,它是一种高分子材料,在我国使用它有着悠久的历史,11世纪通过著名的“丝绸之路”传到波斯、阿拉伯、埃及、1470年传到意大利威尼斯,进入欧洲。

历史充分证明,我们勤劳智慧的祖先,在材料的创造和使用上有过辉煌的成就,为人类文明作出了巨大的贡献。

近200年来,由于工业迅速发展,对材料特别是钢铁的需求急骤增长。在化学、物理、材料力学等学科的基础上,产生了一门新的科学——金属学。其主要任务在于探讨金属的组织与性能之间的关系。由于近来的显微技术、x射线技术等新仪器和新技术的相继出现和发展,金属学得到长足的进步,并将这种研究方法运用到研究无机非金属材料 and 有机高分子材料的领域里。

进入20世纪以来,现代科学技术和生产的发展一日千里。材料、能源与信息作为现代科学技术的三大支柱,发展得格外迅猛。

目前材料科学方面,发展了许许多多新的金属材料,无机非金属材料 and 有机高分子材料。形成了金属材料、有机高分子材料和无机非金属材料三足鼎立的材料世界。

§1-2 工程材料的研究方法简介

近几十年来,由于金属与非金属相互渗透,并且相互组合,组成一完整的材料体系。材料科学是在金属学、高分子学和陶瓷学等基础上发展起来的。其任务是揭示材料的成分、加工方法、结构和性能之间的关系。

材料的性能包括使用性能和工艺性能两方面。使用性能是材料在使用条件下表现出来的性能,如力学(或机械)性能、物理性能和化学性能等;工艺性能则是材料在加工过程中表现出来的性能,如切削加工性能、铸造性能、压力加工性能、焊接性能、热处理性能等。这些性能可以借助一系列的物理、力学和工艺实验加以评定。

材料的组织结构包括宏观组织和微观组织。宏观组织是借助肉眼或低倍(<20 倍)放大镜所能看到的组织形貌;微观组织是借助于先制成试样,对其表面或断面进行机械抛光或电解抛光,接着用化学法或电解法将抛光面腐蚀,然后用反射显微镜进行检验。要对材料微区进行更深入细致的分析,有时还要借助于x射线结构分析;或者用透射电子显微镜、扫描电子显微镜、电子探针、离子探针、俄歇电子谱仪等现代仪器进行微区分析或晶体结构分析。

材料的成分是指组成材料的基本组元的种类及其含量,为了测定材料的各种成分的含量,就要进行分析试验,如化学分析、发射光谱分析、x射线分析、分子吸收分析等。

工程材料是材料科学的实用部分,重点阐述结构材料的成分,工艺方法与组织、性能以及应用方面的一般规律和知识。

结构材料是指工程上要求有强度、韧性、塑性等机械性能的材料。那些要求具有电、光、声、磁、热等功能和效应的材料为功能材料,一般不在工程材料讨论之列。工程材料的具体任务是为工程结构和机器零件的设计和使用提供正确选材和合理用材的基本原则、方法和知识。工程材料也为某些专业学科提供必要的理论基础。

§1-3 固态原子的结合键

一、原子间的相互作用力

物质处于固态时,按粒子排列的特点,固体可分为晶体和非晶体两大类,实际上大部分工程材料多为晶体,如各种金属材料,它的原子或分子在三维空间作有规律的周期性重复排列,绵延的距离大大超过原子或分子的尺寸,贯穿整个体积,即具有长程有序。非晶体是一种过冷的液体。例如玻璃、塑料等,其中粒子(原子或分子)的排列呈短程有序。此类物质没有固定的熔点,但一般似具有各自的工程性能。非晶体在小范围内呈短程有序。所以,在小的局部的范围内原子或分子的排列仍然是有规律的。

晶体中的原子(离子或分子)为什么能结合成规律排列的稳定晶体呢?这是因为原

子之间相互作用的结果。当两个原子接近时，原子核不发生变化，只是原子的外层电子重新分布。这种相互作用本质上是静电作用，它包括吸引作用和排斥作用。吸引力产生于异性电荷的库仑引力，是一种长程力，它是在比原子间距离大很多的距离处就起作用。这种引力随原子间距的缩小成指数关系增大。如图1-1中曲线 $f_{吸}$ ，排斥力产生于同性电荷之间的库仑斥力和原子相互接近时轨道电子的电子云相互重叠所引起的斥力，是一种短程力，即只有原子的距离接近原子间距时，才有显著的作用。随着原子间距进一步的缩小，斥力迅速增大，增长的速度大于引力，如图1-1中曲线 $f_{斥}$ 。原子间总的相互作用力 $f_{总}$ ，即 $f_{吸}$ 和 $f_{斥}$ 两者的合力，随距离的变化如图1-1中曲线 $f_{总}$ 所示。

曲线 $f_{总}$ 交横轴于A，A点的合力为零，即原子间的距离为 a_0 时，吸引力与排斥力平衡，此时原子间相互作用的势能最低，如图1-1中的曲线 $E_{总}$ 。

当距离小于 a_0 时，斥力大于引力，总的作用力为斥力，使原子距离趋于扩大；

当距离大于 a_0 时，引力大于斥力，总的作用力为引力，使原子距离趋向接近。

以上情况分析可知：聚合体只有当其原子相距为平衡距离，作规律排列，形成晶体，对应于最低能量分布时，才处于稳定状态。平衡位置所对应的最低势能 E_0 ，为晶体的原子结合能，它相当于把原子完全拆散所需要做的功，是影响状态，决定晶体结构和性能最本质的因素。

当原子（离子或分子）聚合为晶体时，原子（离子或分子）之间产生较强的相互作用力，这种相互作用力就是晶体的结合力，也叫做结合键，或叫化学键，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，固体中的结合键大体可分为离子键、共价键、金属键、分子键、氢键等几种类型。下面就分别介绍。

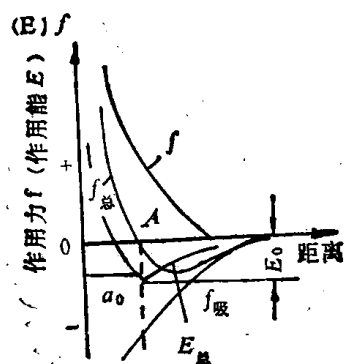


图 1-1 原子间的相互作用

二、金属键和金属晶体

金属原子的结构特点是：外层的价电子数目较少，而且与原子核之间的结合力也很微弱，极易与原子核脱离。这样，使金属原子相互结合在一起而成为固体时，各金属原子与其价电子脱离而成正离子。正离子就如一个个等径小圆球一样，它没有任何方向性，可以按一定规律堆积起来，但由于所有的自由电子在正离子间作高速运转，它们为整个金属所共有，这些公有的自由电子，又称为“电子气”。金属固体即借自由电子与正离子之间的引力而结合在一起。金属晶体的这种结合方式称为“金属键”。它与离子键结合的固体，如氯化钠的键结合方式是不同的。NaCl是借助其正的钠离子(Na^+)与负的氯离子(Cl^-)之间的静电引力而结合在一起，其中并不存在公有化的自由电子，而金属则主要是由于这种“电子气”而结合在一起。正由于这样，金属的晶体结构才具有以尽可能紧密的堆积方式结合起来。图1-2是金属原子结合的示意图，金属种类不同，堆积的方式也有所不同。图1-3(a)为晶体原子（正离子）堆积图象。为了便于分



图 1-2 金属原子结合示意图

析各种晶体原子(正离子)堆积的规律起见, 可以用假想的线条将各原子的中心联结起来, 使之形成一个空间格子, 如图1-3(b)所示, 此时各原子都位于该假想空间格子的结点上。这种描述原子在晶体中的排列形式的空间格子叫做“晶格”。晶格中各种方位的原子平面叫做“晶面”。晶体可以认为是由层层晶面堆砌而成的。晶格中由原子所

组成的任意一直线, 能代表晶体空间内的一个方向, 这种方向称为“晶向”, 为了便于研究, 通常取晶格中一个最能代表其结构特征的单元即“晶胞”来描述晶体结构, 如图1-3(c)所示。晶胞的各边尺寸以 a , b , c 表示, 称为“晶格常数”, 以($\text{\AA}$)为其长度单位 ($1\text{\AA} = 10^{-8}\text{cm}$)。

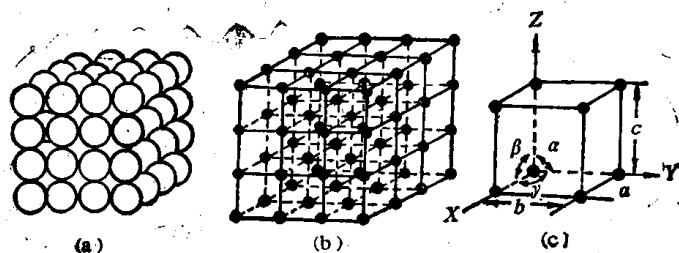


图 1-3 简单立方体晶格的描述

(a) 晶体 (b) 晶格 (c) 晶胞

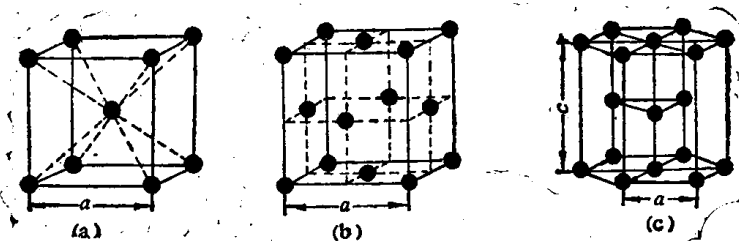


图 1-4 三种金属晶格的晶胞

(a) 体心立方晶胞 (b) 面心立方晶胞 (c) 密排六方晶胞

金属晶体结构最普遍的晶格形式是: 体心、面心立方及密排六方晶胞三种, 其晶胞如图1-4所示, 这三种金属晶格的模型如图1-5所示。

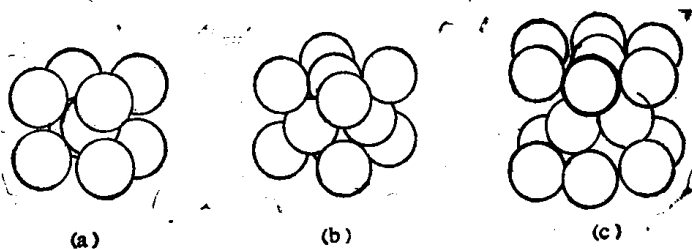


图 1-5 三种金属晶格的模型

(a) 体心立方晶格 (b) 面心立方晶格 (c) 密排六方晶格

(一) 体心立方晶格

体心立方晶格的晶胞是一个正六面体（即立方体）。如图1-4(a)所示，晶格常数 $a=b=c$ ， $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ 。所以，通常只用一个晶格常数 a 表示。

在体心立方晶胞中，每个晶胞由两个原子组成。这是因为，立方体的每个顶角上都有一个原子，8个顶角共8个原子，在每个顶角上的原子，实际上是同时属于其相邻的8个晶胞共有，故对每个晶胞来说，它只占有 $1/8$ 个。而在立方体的中心还有一个原子完全属于该晶胞独有。所以，在体心立方晶格的每一个晶胞内，实际所包含的原子数为 $1/8 \times 8 + 1 = 2$ 。具有这种晶体结构的常用金属有 α -Fe、Cr、W、Mo、V等。

(二) 面心立方晶格

面心立方晶格的晶胞也是一个立方体，见图1-4(b)，其晶格常数 $a=b=c$ ， $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ ，所以，只用一个常数 a 就可以表示该晶格的结构特点。

在面心立方晶格的一个晶胞中，包含的原子数为 $1/8 \times 8 + 1/2 \times 6 = 4$ ，具有这种晶体结构的金属有 γ -Fe、Cu、Al、Ni、Pb等，它们都具有极好的塑性。

(三) 密排六方晶格

密排六方晶格的晶胞是一个六棱柱，见图1-4(c)，上下两底面呈六角形，六个侧面呈长方形，密排六方晶格的晶胞，通常要用两个晶格常数才能表示，一个是六角形底面的边长 a ，另一个就是两个底面间的高度 c ，其两轴比 $c/a \approx 1.633$ 。

在密排六方晶格的每一个晶胞中包含有6个原子（ $1/6 \times 12 + \frac{1}{2} \times 2 + 3 = 6$ ），其中 $1/6$ 是指每个角上的原子， $1/2$ 是指六方底面中心的原子，而3则是指在晶胞中间的3个原子。具有这种晶体结构的金属有Mg、Zn、Be、Cd以及室温下的钛等。

除以上三种晶格外，少数金属还具有其它类型的晶格，这里就不再介绍了。

假如原子排列是彼此紧密相接触的。如图1-5所示，这三种晶体结构原子排列的紧密程度是不同的。在评定晶体中原子排列的紧密程度时，常用“致密度”和“配位数”这两个概念。

所谓致密度是指其晶胞中所包含的原子所占有的体积与该晶胞体积之比。例如，在体心立方晶格中，每个晶胞含有2个原子，原子半径为 $(\sqrt{3}/4)a$ ，晶胞体积为 a^3 ，故体心立方晶格的致密度为：

$$2 \times \frac{4}{3} \pi r^3 / a^3 = 2 \times \frac{4\pi}{3} \left(\frac{\sqrt{3}}{4} a \right)^3 / a^3 = 0.68,$$

而面心立方晶格的致密度为：

$$4 \times \frac{4}{3} \pi r^3 / a^3 = 4 \times \frac{4\pi}{3} \left(\frac{\sqrt{2}}{4} a \right)^3 / a^3 = 0.74;$$

同理，也可求得密排六方晶格的致密度为0.74。

所谓配位数即指晶格中任一原子周围所紧邻的最近且等距离的原子数，它是定性评定晶体中原子排列的紧密程度。显然，配位数越大，原子排列也就越紧密。据此定义可知，体心立方晶格的配位数为8，而面心立方晶格和密排六方晶格的配位数均为12。由此可知，不论从晶体的致密度或配位数来看，面心立方和密排六方晶格的原子排列都比