



全国高等农业院校教材

全国高等农业院校教材指导委员会审定



机 械 工 程

材 料 学

第二版

● 李德玉
主 编

2

中 国 农 业 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

机械工程材料学/李德玉主编. —2 版. —北京: 中国
农业出版社, 2002.2
全国高等农业院校教材
ISBN 7-109-04242-1

I. 机... II. 李... III. 机械制造材料—高等学校—
教材 IV. TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 007261 号

出 版 人 沈镇昭
责任编辑 何致莹
出 版 中国农业出版社
(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)
发 行 新华书店北京发行所
印 刷 北京忠信诚胶印厂

* * *

开 本 787mm×1092mm 16 开本
印 张 13.75 字数 306 千字
版、印次 1985 年 5 月第 1 版
1997 年 5 月第 2 版
2002 年 2 月第 2 版北京第 3 次印刷
印 数 5 001~8 000 册 定价 18.30 元

ISBN 7-109-04242-1



0 1 >

9 787109 042421

书 号 ISBN 7-109-04242-1/TH·140

第二版前言

本书是在1984年原北京农业机械化学学院(现北京农业工程大学)主编的全国高等农业院校统编教材《机械工程材料学》基础上修订而成的。

原教材出版使用距今已有十载。期间,材料科学,特别是材料工程有了很大发展。教育改革业已深入到教学内容体系的微观领域。尤其是社会主义市场经济体制的确立,极大地冲击了传统的教育思想,对人才培养的目标和规格提出了新的要求,相应在教学方法和人才培养模式方面也在不断地进行探索、改革,并取得了许多有益的新经验。基于此农业部决定对原教材进行修订,进一步总结经验、发扬长处、弥补不足、充实、更新内容、优化结构体系以适应新时期的需要是非常必要的。

本书编写的指导思想是:立足农业院校的教学实践,借鉴工科院校同类教材的长处,坚持改革,力求:1. 在总结原教材使用经验的基础上,使全书内容结构体系更加科学、合理;2. 在加强基本知识、基本理论的基础上,适当反映材料科学和工程的现代成就和学科研究的前沿;3. 在内容取舍的深广度上尽量符合专业培养目标和培养规格的要求;4. 理论联系实际、面向生产、加强实用性;5. 重点突出、详略得当、思路清晰、论证严谨、通顺易读、便于学生自学。

根据上述指导思想,与原教材比较,本书首先在内容体系上作了适当调整,更好地体现了知识的渐进性、思维的逻辑性;充实了工程材料学的基本理论,适当增加了有关新材料、新工艺方面的知识;加强了各种材料性能的比较、应用特点和合理选材的方法。

原教材由北京农业工程大学农绍华任主编、赵世纬负责汇总统稿,北京农业工程大学农绍华、赵世纬、李德玉,原西北农学院(现西北农业大学)吴希绣,原青海工农学院(现青海大学)徐集榆等分别执笔编写。本书编写人员作了调整,由北京农业工程大学李德玉任主编并执笔绪论、第四、九、十、十一章;西北农业大学吴希绣执笔第五、十二章;北京农业工程大学胡三媛执笔第六章;福建农业大学庄哲峰执笔第一、二、三、七、八章。全书由北京理工大学吴培英教授担任主审。

本书在编写过程中得到了各农业院校有关同志的关心、支持和帮助。在1991年和1993年先后召开的全国高等农业院校机械工程材料课程协作组第四、第五次教学研讨会上,与会同志对原教材修订工作提出了许多宝贵意见和积极建议,并对修订大纲作了认真审定,对完成本书起了重要作用,在此一并向上述所有同志表示衷心感谢。

由于我们水平有限,特别在如何把握好课程基本内容与内容体系改革关系方面经验不足,疏漏和不妥之处,敬请批评指正。

编 者

1994年11月·北京

第一版前言

本书是根据1983年全国高等农业院校《机械工程材料学》教学大纲审订会议纪要的精神,考虑到机械工程材料实际应用现状与发展,结合近年来的教学实践而编写的。

本书编写时主要注意了以下几个问题:①考虑到了1979年北京农业机械化学院主编《金属材料及热处理》一书中的一些可取之处;②尽量用近代观点解释材料中的若干问题,适当加强了基础理论中的某些章节;③考虑到专业需要特点,对部分章节的体系与内容作了必要的更改;④除介绍传统的金属材料外,注意到了新材料(金属材料与非金属材料)与新工艺的发展;⑤增设了第三篇,目的在于加强对机器零件失效分析与对材料合理选用的这一重要教学要求;⑥计量单位统一采用国际单位制(SI),并以国际代号表示,如强度指标单位一律用 MN/m^2 ,即兆·牛顿/米²($1\text{MN/m}^2 \approx 0.1\text{kgf/mm}^2$);冲击韧性指标单位采用 kJ/m^2 ,即千·焦耳/米²($1\text{kJ/m}^2 \approx 0.01\text{kg} \cdot \text{m/cm}^2$);硬度值仍沿用 kgf/mm^2 为单位,一般不予标注。

参加本教材的大纲与教材审订稿的有:浙江农业大学、华南农学院、西北农学院、青海工农学院、西南农学院、湖南农学院、黑龙江八一农垦大学、广西农学院、新疆八一农学院、河北农业大学、云南农业大学、福建农学院、沈阳农学院、内蒙古农牧学院和北京农业机械化学院。

本教材中绪论、第一、二章由北京农业机械化学院农绍华编写,第三、四、七、八、十章由北京农业机械化学院赵世纬编写,第五、十二章由西北农学院吴希绣编写,第六、九、十三章由青海工农学院徐集榆编写,第十一章由北京农业机械化学院李德玉编写。全书由赵世纬汇总统稿,由农绍华任主编。北京农业机械化学院胡三媛为全书的图稿整理作了许多具体工作。

由于我们水平有限,经验不足,难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

1984年8月于北京

目 录

绪论	1
第一章 金属的结构与组织	6
第一节 金属的晶体结构	6
一、金属的结合	6
二、纯金属的晶体结构	6
三、金属晶体的缺陷	10
四、合金的晶体结构	11
第二节 金属的显微组织	14
一、纯金属的结晶与组织	14
二、合金的显微组织	17
复习思考题	18
第二章 金属的塑性变形与再结晶	20
第一节 金属的强度与塑性	20
第二节 金属的塑性变形	21
一、单晶体金属的塑性变形	21
二、多晶体金属的塑性变形	24
三、合金的塑性变形	27
第三节 加热对冷变形金属的影响	28
一、回复	28
二、再结晶	28
三、晶粒长大	29
第四节 金属的热变形	30
一、金属热变形的概念	30
二、热变形金属的组织与性能	31
复习思考题	32
第三章 二元合金相图	33
第一节 二元合金相图的建立	33
第二节 二元合金相图的基本类型	34
一、匀晶相图	34
二、共晶相图	35
三、包晶相图	38
四、其它类型相图	39
第三节 相图与合金性能的关系	39
复习思考题	40
第四章 铁碳合金相图及碳钢	42

第一节 铁碳合金相图	42
一、铁碳合金相图的构成	42
二、铁碳合金相图分析	45
三、Fe-Fe ₃ C 相图的意义及应用	50
第二节 碳钢	52
一、碳钢的性能	52
二、碳钢的分类	53
三、碳钢的牌号及用途	54
复习思考题	58
第五章 钢的热处理	60
第一节 钢在加热时的组织转变	60
一、奥氏体的形成	61
二、奥氏体晶粒大小及影响因素	62
第二节 钢在冷却时的组织转变	63
一、过冷奥氏体等温转变图 (TTT 图)	63
二、过冷奥氏体连续冷却转变图 (CCT 曲线)	68
三、奥氏体的马氏体转变	69
第三节 钢的退火与正火	71
一、钢的退火	72
二、钢的正火	73
第四节 钢的淬火	74
一、加热温度	74
二、加热时间	74
三、淬火介质	75
四、淬火方法	76
五、钢的强韧化新工艺	76
第五节 钢的回火	77
一、淬火钢回火时的组织转变	77
二、淬火钢回火时的性能变化	78
三、回火脆性	78
四、回火种类及其应用	79
第六节 钢的淬透性	79
一、淬透性及其测定	79
二、影响淬透性的因素	82
三、淬透性与零件淬透层深度的关系	82
四、钢的淬透性对零件机械性能的影响	83
五、淬透性的应用	83
第七节 钢的表面热处理	84
一、钢的表面淬火	84
二、化学热处理	86
第八节 零件结构的热处理工艺性	90
第九节 热处理工艺和其它加工工艺间的关系	92

第十节 钢的热处理新技术	92
一、可控气氛热处理和真空热处理	92
二、形变热处理	95
三、表面改性新技术	96
复习思考题	98
第六章 合金钢	100
第一节 合金钢总论	100
一、概述	100
二、合金钢的分类及编号方法	101
三、合金元素在钢中的主要作用	102
第二节 合金结构钢	107
一、机器零件用钢	108
二、工程结构用钢	115
三、专用结构钢	118
第三节 合金工具钢	121
一、合金刀具钢	121
二、合金模具钢	126
三、量具用钢	129
第四节 特殊性能钢	130
一、耐磨钢	130
二、不锈钢	130
三、耐热钢	132
复习思考题	134
第七章 铸铁	135
第一节 概述	135
一、铸铁的特点	135
二、铸铁的石墨化	135
三、铸铁的分类	138
第二节 灰口铸铁	138
一、灰口铸铁的组织	138
二、灰口铸铁的分类、性能、牌号及应用	139
第三节 合金铸铁	144
一、耐磨合金铸铁	144
二、耐热合金铸铁和耐蚀合金铸铁	145
第四节 铸铁的热处理	146
一、铸铁热处理的特点	146
二、灰铸铁的热处理	146
三、球墨铸铁的热处理	146
复习思考题	147
第八章 有色金属及粉末冶金材料	148
第一节 铝及铝合金	148

一、工业纯铝	148
二、铝合金	148
第二节 铜及铜合金	153
一、工业纯铜	153
二、铜合金	153
第三节 锌及锌合金	158
一、工业纯锌	158
二、锌合金	158
第四节 滑动轴承合金	159
一、对轴承材料的要求	159
二、锡基和铅基轴承合金	159
三、铜基轴承合金	160
四、铝基轴承合金	160
五、锌基轴承合金	161
第五节 粉末冶金材料	161
一、概述	161
二、常用粉末冶金材料	162
复习思考题	165
第九章 工程塑料	166
第一节 工程塑料的物化基础	166
一、高分子基本概念	166
二、高分子的聚合	167
三、高分子的分类与命名	168
四、高分子的结构	169
五、高分子的力学状态	171
第二节 塑料的组成及性能	172
一、塑料的基本组成	172
二、热塑性塑料与热固性塑料	173
三、工程塑料的性能特点	173
第三节 常用工程塑料	174
复习思考题	176
第十章 工程陶瓷	177
第一节 陶瓷的组织结构	177
一、晶相	177
二、玻璃相	179
三、气相	179
第二节 陶瓷的性能特点	179
一、力学性能	179
二、其它性能	180
第三节 常用工程结构陶瓷	180
复习思考题	182

第十一章 复合材料	183
第一节 概述	183
一、复合材料的概念	183
二、复合材料的分类	183
三、复合材料的命名	184
第二节 纤维树脂复合材料	184
一、纤维增强复合原理	184
二、纤维增强复合材料的性能特点	185
三、常用纤维—树脂复合材料	185
第三节 其它复合材料	187
一、颗粒复合材料	187
二、层叠复合材料	188
复习思考题	188
第十二章 零件的失效分析与选材	189
第一节 零件的失效分析	189
一、零件失效的基本形式	189
二、零件失效的原因	193
三、零件失效分析的方法	194
第二节 零件材料的选择	195
一、选材的基本原则	195
二、确定零件用材应注意的几个问题	197
三、确定零件热处理工艺应注意的几个问题	198
第三节 典型零件的选材及热处理	198
一、齿轮类零件	198
二、轴类零件	200
三、农机具零件	204
复习思考题	204
主要参考文献	207

绪 论

一、材料与材料科学

广义讲,凡是用来制造有用物品的物质都称作材料。因此材料与人类生产和生活有着密切的联系,它是人类生存和发展、征服自然和改造自然的物质基础,也是人类社会现代文明的重要支柱。纵观人类利用材料的历史,可以清楚地看到,每一种重要的新材料的发现和应 用,都把人类支配自然的能力提高到一个新的水平。材料科学技术的每一次重大突破,都会引起生产技术的革命,大大加速社会发展的进程,并给社会生产和人们生活带来巨大的变化。所以史学家通常将人类生活和社会文明发展的阶段划分为旧石器时代、新石器(陶器)时代、青铜器时代和铁器时代。

我国是有五千年灿烂文化的文明古国。历史上在材料的制造和应用方面对人类社会曾做过巨大贡献。早在原始社会末期,我们祖先已经开始用火制做陶器。这在人类进化史上是一个重要的里程碑,它标志人类的智慧已发展到将天然材料改造为人工材料的新时代。在公元前 11 世纪的商周时期发明了釉陶,东汉(公元 25—220 年)时又烧制成瓷器,先于欧洲 1300 余年。陶瓷技术不仅成为中国古代文化的重要象征,而且对世界文化产生了极大影响。

由于制陶技术的进步,以及在烧陶生产中发展了冶铜术,为大规模炼铜奠定了基础,使我国成为世界上最早使用金属材料的国家之一。从出土的大量青铜礼器、生活用具、兵器、工具证明,在公元前一千多年的商代,我国的青铜冶炼技术已达到很高水平。河南安阳出土的晚商时期的司母戊鼎重达 875 公斤,不仅是迄今世界上最古老的大型青铜器,而且冶炼技术和艺术造诣都达到了非常高超的水平。举世闻名的越王勾践剑距今已有 2400 余年,但仍锋利异常,堪称世界上古青铜器的杰作。春秋时期,我国劳动人民通过实践,已能对青铜冶炼技术作出规律性的总结,认识了青铜成分、性能和用途之间的关系。《周礼·考工记》中关于青铜“六齐”的论述是世界上最早的合金化工艺的科学总结。

在青铜文化鼎盛的春秋时期,我们的祖先已开始了冶铁,比欧洲开始使用生铁早约 2000 年。到了西汉我国已掌握了用煤作燃料的炼铁技术,这比欧洲约早了 1700 年。我国创造的“先炼铁,后炼钢”的两步炼钢技术也比其它国家早约 1600 年。从西汉至明代长达 1500 多年的历史过程中,我国钢铁生产技术一直处于世界领先地位,并远远超过世界各国。17 世纪之后,西欧和俄国在科学革命和产业革命推动下后来居上,创造了不少新的冶炼技术,使以钢铁为代表的材料生产和应用跨进一个新的阶段,促进了工业革命。反之,工业革命又促进了材料,特别是钢铁材料的需求急剧增长。

由于材料问题比较复杂,在 18 世纪以前虽然钢铁材料的制造和应用有了很大发展,但是对材料内部结构及其与性能之间的关系还缺乏本质和规律性的认识,材料的制造生产仍停留在工匠、艺人经验的水平上。直到 1863 年第一台光学显微镜问世,才使人们对材料的

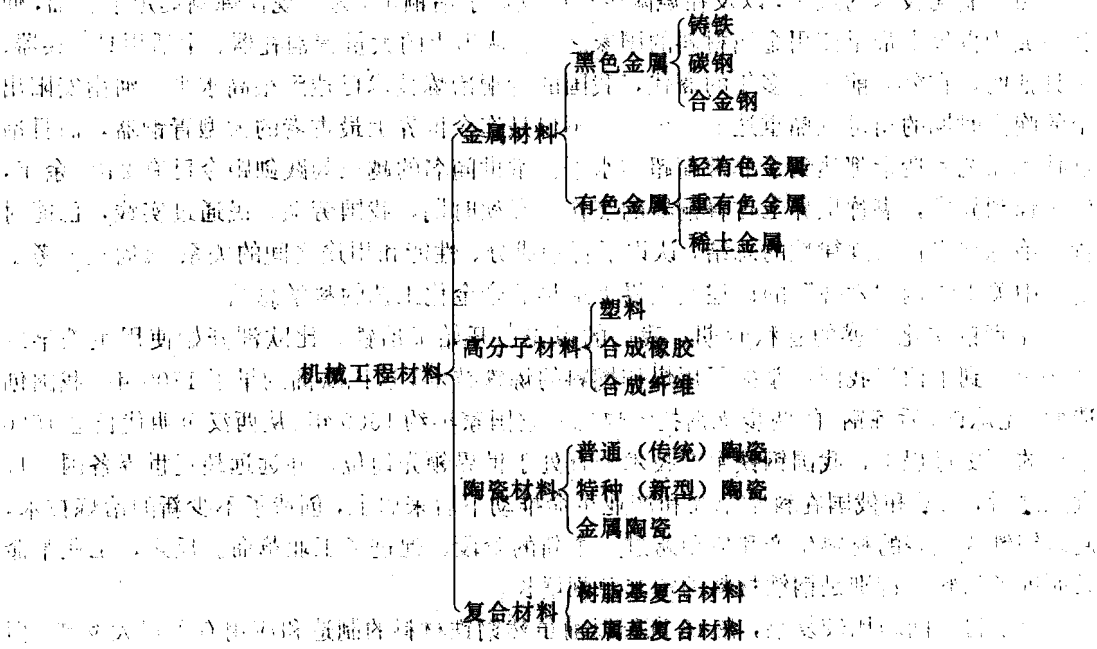
研究步入了微观领域，并在化学、物理和材料力学等学科研究的基础上产生了一门新兴的学科“金属学”。金属学揭示了金属成分、组织和性能之间的相互关系，从而奠定了金属材料的理论基础。之后随着 X 射线衍射技术和电子显微镜等新仪器、新技术的相继出现和应用，“金属学”日趋完善，大大推动了金属材料的发展。

进入 20 世纪以来，现代科学技术和生产突飞猛进，能源、信息、生物技术、空间技术的发展，不仅对材料的需求量大大增加，而且对材料的性能提出了更多、更高的要求，单一的金属材料已不能满足当代科技和生产发展的需要，因此各种非金属材料应运而生，尤以人工合成高分子材料的发展最快。从 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，世界有机合成材料和钢的体积产量已经相等，标志人类正在跨入人工合成材料的时代。近 20 多年来，金属材料与各种非金属材料相互渗透、相互结合已组成一个完整的材料体系，显然“金属学”已不能全面反映现今使用的各类材料的研究、生产和应用中的理论和实际问题。因此在金属学、高分子科学、陶瓷学等学科的基础上形成了“材料科学”。

材料科学是一门综合性的学科，它从事于研究固体材料微观结构及其性能之间的关系。“机械工程材料”是材料科学的一部分，它以用于工程结构和机器零件的材料为研究对象，阐述工程材料的成分、组织和性能之间的关系。

二、工程材料的分类与特点

工程上使用的材料种类繁多，据粗略统计，目前世界上的材料品种已达 40 余万。众多的材料有不同的分类方法，通常按材料的本性或结合键的性质分为四大类，如下所示：



(一)金属材料 金属材料包括纯金属及其合金，其结合键主要为金属键，内部原子呈规则排列。在本世纪 40 年代之前，金属材料在材料工业中占据绝对优势。近半个世纪以来，

虽然随着合成高分子材料、陶瓷材料以及各种先进复合材料的发展,其一统天下逐渐被打破,但是目前以及在可预见的将来,金属材料仍将占据材料工业的主导地位。据统计目前在各种机器设备中,金属材料用量仍占 90% 以上,这是因为金属材料工业已经具有了一整套相当成熟的生产技术和完整的生产体系,质量稳定,在相当长时期内资源也有足够保证,加之在科技不断进步、生产迅猛发展过程中,金属材料本身也在不断提高质量、降低成本、扩大品种规格,工艺上精益求精不断革新,许多新兴材料不断涌现,以适应科技和生产发展的需要,因此金属材料的发展前景仍然是十分广阔的。

(二) 高分子材料 高分子是由碳、氢、氧、氮、硅等元素组成的分子量特别大的有机化合物,它的结合键主要是共价键。

高分子材料使用历史悠久,人类用以御寒的皮、毛、丝、麻、棉等便是天然的高分子材料。但是作为现代工程意义上的高分子材料主要是指人工合成的高分子材料。合成高分子材料是一种新型的化工材料,它的问世使人类结束了只能依赖和应用天然材料的历史,结束了金属材料一统天下的局面,使人类的生产和科学技术发生了革命性的飞跃。

合成高分子材料的出现虽然只有几十年的历史,但是由于它原料丰富、经济效益显著,且具有较优良的性能又不受地域、气候限制,发展十分迅速。据统计从 1929 年至 1969 年的 40 年间,世界合成高分子材料共增长了 500 倍,目前仅工程塑料的年产量已超过 1.4 亿吨,有些机器上的零件已逐渐被工程塑料所替代。被称为现代高分子三大合成材料的塑料、合成橡胶和合成纤维已成为国家建设和人民日常生活中必不可少的重要材料。

(三) 陶瓷材料 陶瓷材料是人类最早利用的一种无机非金属材料。广义讲陶瓷是所有无机非金属材料的简称,本书所阐述的是狭义的作为结构和工具材料的工程陶瓷。

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,它的结合键主要是离子键,同时还存在一定成分的共价键。陶瓷由于具有熔点高、耐高温、硬度高、耐磨损、化学稳定性高、耐氧化和腐蚀以及重量轻、弹性模量大、强度高等一系列优良性能日益受到重视,并得到愈来愈广泛的应用;特别是在高温结构材料、磁性材料、介电材料、半导体材料和光学材料等方面占据了重要地位。目前陶瓷材料的研究和开发已成为材料科学和工程的一个重要组成部分。但是陶瓷材料的塑性变形能力差、易发生脆性破坏和不易加工成型,致使其应用受到很大限制,因此陶瓷的增韧是一项重要的研究课题。

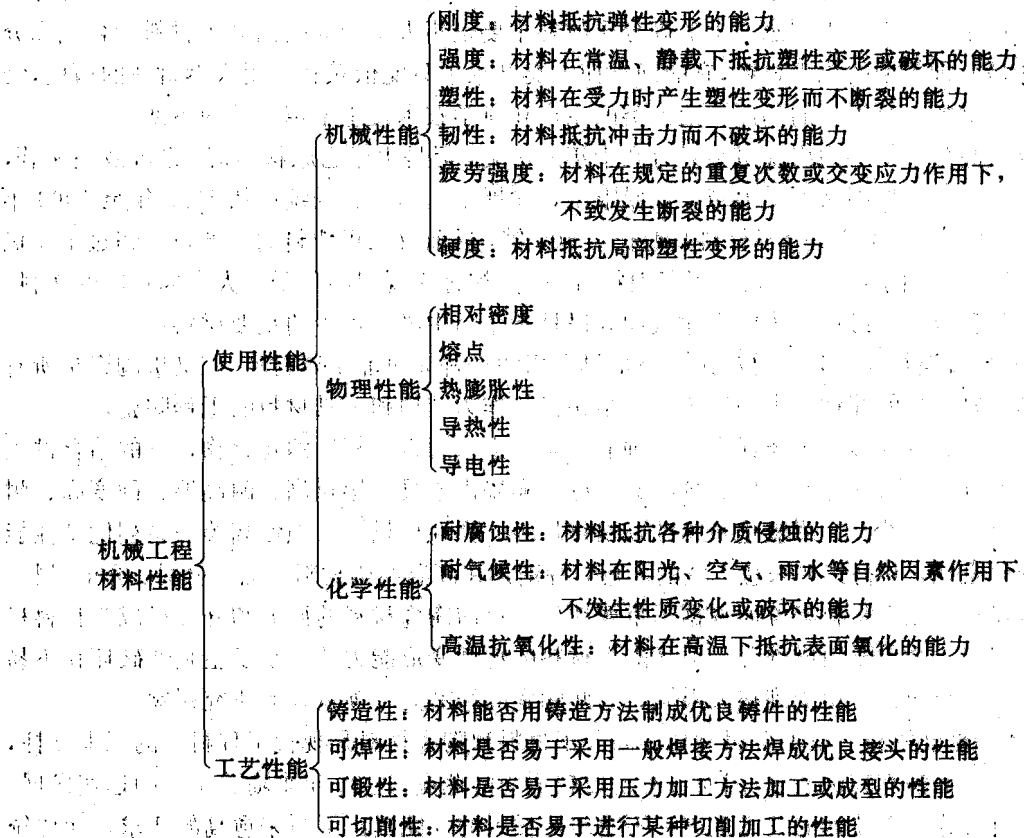
(四) 复合材料 以上金属材料、高分子材料和陶瓷材料是现代工程材料的三大支柱,它们在性能上各有其优缺点,因而各有自己较适用的范围。近 30 年来随着生产的迅速发展,特别是航天等尖端技术的突飞猛进,不断地对材料的性能提出了愈来愈高的要求,而传统的单一材料往往不能全面满足强度、韧性、重量和稳定性等方面的要求,为了使各种材料之间的优点互补,获得性能更加优越的材料,60 年代以来研制成了各种新型复合材料。所谓复合材料就是两种或两种以上不同材料的组合材料。其性能通常兼有组成材料的各项优点,是一类特殊的工程材料,具有广阔的发展前景。因而有科学家预言:21 世纪将是复合材料的时代。

三、材料的性能

材料的性能一般分为使用性能和工艺性能两种。使用性能是指材料制成零件或构件后,

为保证正常运转和一定工作寿命所应具备的性能，它是选择材料和研制材料的主要依据和出发点；工艺性能是指为保证材料加工过程顺利进行所必须具备的性能，它对提高劳动生产率、改善产品质量和降低成本有着重要意义。因此为了合理地选择材料，正确地拟定各种加工工艺过程，充分发挥材料的性能潜力，保证和提高产品质量，必须要了解材料的性能。

材料的性能是材料的本质属性，涉及的知识领域比较宽，在物理、化学、材力、机制基础等课程中都从不同角度讲述材料的性能，本课程的任务就是在上述基础上进一步阐述材料性能与材料的成分、微观结构之间的关系，并综合应用各方面的知识以改善材料性能，合理应用材料。在工程方面，与材料改性、选材和应用密切相关的主要性能指标可作如下概括：



以上各项性能与材料本质的联系以及其在实践中的应用将在本书有关章节中分别介绍。

四、本课程的性质、任务及学习方法

本课程是农业工程类和机械类专业必修的一门技术基础课。其主要任务是从应用角度出发，阐明机械工程材料学的基本理论和基本知识。目的是使学生通过学习能正确理解常用材料的成分、加工工艺、组织结构与性能之间的关系，具有根据零件使用条件和性能要求，进行合理选材及制定零件热处理工艺的初步能力，并为学习后续有关课程打下基础。

本课程的理论性很强，涉及的内容广泛而且比较微观，概念多，名词术语多，逻辑性比较强，学习中要注重于理解和分析，掌握材料性能变化的内在规律，紧紧围绕选材，深刻认识影响材料性能的因素及其强化机制。

本课程同时又是实践性和应用性很强的一门课程。学习时除了掌握其基本理论和基本知识之外，还必须重视实践，注意与生产的联系，掌握金相分析技术和常规的热处理方法并能较熟悉地使用金相和热处理的常规设备和仪器。

本课程的教学大纲是根据《工程材料》课程的教学大纲和《工程材料》课程的教学大纲的要求，结合本课程的教学特点，参照国内外有关教材和文献资料，在广泛征求意见的基础上，经过多次反复修改，并经教研室全体教师讨论通过，并报学校教务处审批后，作为本课程的教学大纲。

本课程的教学大纲是编写教材、组织教学、考核学生的重要依据。在实施过程中，应根据实际情况，对大纲进行适当的调整和补充，以保证教学质量的不断提高。

本课程的教学大纲是编写教材、组织教学、考核学生的重要依据。在实施过程中，应根据实际情况，对大纲进行适当的调整和补充，以保证教学质量的不断提高。

本课程的教学大纲是编写教材、组织教学、考核学生的重要依据。在实施过程中，应根据实际情况，对大纲进行适当的调整和补充，以保证教学质量的不断提高。

本课程的教学大纲是编写教材、组织教学、考核学生的重要依据。在实施过程中，应根据实际情况，对大纲进行适当的调整和补充，以保证教学质量的不断提高。

本课程的教学大纲是编写教材、组织教学、考核学生的重要依据。在实施过程中，应根据实际情况，对大纲进行适当的调整和补充，以保证教学质量的不断提高。

本课程的教学大纲是编写教材、组织教学、考核学生的重要依据。在实施过程中，应根据实际情况，对大纲进行适当的调整和补充，以保证教学质量的不断提高。

本课程的教学大纲是编写教材、组织教学、考核学生的重要依据。在实施过程中，应根据实际情况，对大纲进行适当的调整和补充，以保证教学质量的不断提高。

本课程的教学大纲是编写教材、组织教学、考核学生的重要依据。在实施过程中，应根据实际情况，对大纲进行适当的调整和补充，以保证教学质量的不断提高。

本课程的教学大纲是编写教材、组织教学、考核学生的重要依据。在实施过程中，应根据实际情况，对大纲进行适当的调整和补充，以保证教学质量的不断提高。

本课程的教学大纲是编写教材、组织教学、考核学生的重要依据。在实施过程中，应根据实际情况，对大纲进行适当的调整和补充，以保证教学质量的不断提高。

本课程的教学大纲是编写教材、组织教学、考核学生的重要依据。在实施过程中，应根据实际情况，对大纲进行适当的调整和补充，以保证教学质量的不断提高。

本课程的教学大纲是编写教材、组织教学、考核学生的重要依据。在实施过程中，应根据实际情况，对大纲进行适当的调整和补充，以保证教学质量的不断提高。

本课程的教学大纲是编写教材、组织教学、考核学生的重要依据。在实施过程中，应根据实际情况，对大纲进行适当的调整和补充，以保证教学质量的不断提高。

本课程的教学大纲是编写教材、组织教学、考核学生的重要依据。在实施过程中，应根据实际情况，对大纲进行适当的调整和补充，以保证教学质量的不断提高。

本课程的教学大纲是编写教材、组织教学、考核学生的重要依据。在实施过程中，应根据实际情况，对大纲进行适当的调整和补充，以保证教学质量的不断提高。

第一章 金属的结构与组织

人们研究金属主要是为了提高它们的性能,使其得到更有效的利用。而决定金属性能的内在因素是它的组织结构,因此,学习本课程必须首先掌握金属结构与组织方面的理论知识,以便为进一步学习其它内容打下必要基础。

第一节 金属的晶体结构

一、金属的结合

金属结合的基本特点是电子的“共有化”。金属原子外层的价电子数目一般都较少,且与原子核的结合力弱。当大量金属原子相互靠近时,这些外层电子极易与核脱离成为自由电子,穿梭于各离子间作自由运动,如图 1-1 所示。这种由金属正离子和自由电子之间相互作用而结合的方式称为金属键。

金属结合的另一重要特点是对晶体中原子排列的具体形式没有特殊要求。金属结合可以说首先是体积效应,原子排列越紧凑,结合能就越低,所以多数金属晶体的原子排列都是非常紧密的。

根据金属结合的特点,可以解释金属的一般特性。在外力作用下,晶体中各层原子(离子)发生相对位移时,仍能保持金属键的结合,所以金属具有很高的塑性;在外加电场作用下,自由电子沿电流方向作定向运动而产生电流,显示出良好的导电性;温度升高,金属离子由于热振动使自由电子的运动更困难,导电性降低,因而金属的电阻随温度升高而增大;由于自由电子能够吸收可见光的能量,再以电磁波的形式辐射出来,使金属具有光泽。

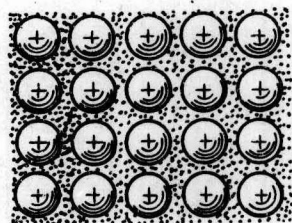


图 1-1 金属的原子结合示意图

二、纯金属的晶体结构

(一) 基本概念

1. 晶体与非晶体 固态物质按其原子的聚集状态可分为晶体和非晶体两大类。原子在空间有规则排列形成晶体(图 1-2b),无序排列的就是非晶体。固态金属在通常条件下都是晶体,普通玻璃、松香等属非晶体。

2. 单晶体与多晶体 由一个核心(称为晶核)生长而成的晶体称为单晶体;而由许多不同位向的小晶体组成的晶体称为多晶体,实际金属都是多晶体。这些小晶体往往呈颗粒状和不规则的外形,故称晶粒,晶粒与晶粒之间的交界称为晶界(图 1-2a)。

3. 晶格与晶胞 为了便于理解和分析晶体内部原子(正离子)排列规律,通常把晶体

中的原子抽象成点（称为阵点），再用一些假想的几何线条连接这些阵点，使其构成三维空间格子（图 1-2c），这种格子称为晶格。晶格中最能代表原子排列规律的最小几何单元称为晶胞（图 1-2d）。晶格就是由许许多多小晶胞堆砌起来的。

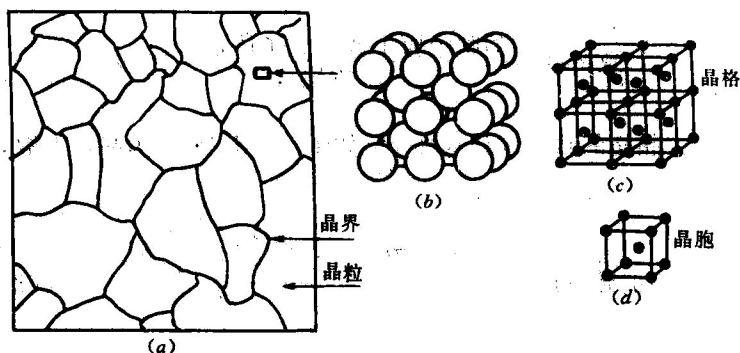
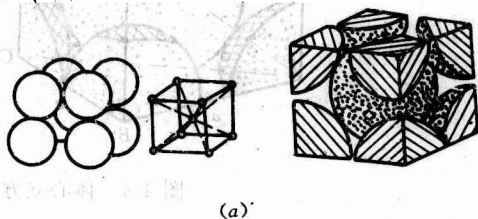


图 1-2 纯铁的内部构造示意图

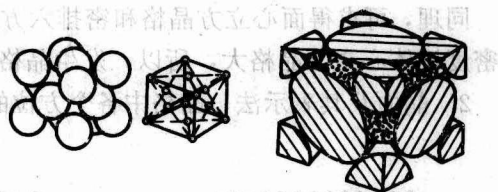
4. 晶格常数 晶胞的三维尺寸称为晶格常数。对立方晶胞，晶胞边长相等，一般只用边长 a 来表示。如 α -Fe 的晶格常数 $a=2.86 \text{ \AA}$ ($1 \text{ \AA}=10^{-8} \text{ cm}$)。

(二) 基本结构 最常见的金属晶体结构有体心立方、面心立方和密排六方三种类型。

1. 体心立方晶格 体心立方晶格的晶胞是个正立方体。其原子分布如图 1-3a 所示，其中每个顶角上的原子为相邻的 8 个晶胞所共有，在中心处的原子为每个晶胞所独有，所以每个晶胞中含有 $\frac{1}{8} \times 8 + 1 = 2$ 个原子。具有这类晶格的金属有 α -Fe、Cr、Mo、W 和 V 等。



2. 面心立方晶格 面心立方晶格的晶胞也是正立方体。其原子排列如图 1-3b 所示，每个角上的原子为相邻 8 个晶胞所共有，面上原子为相邻 2 个晶胞所共有，所以每个晶胞含有 $\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4$ 个原子。具有这类晶格的金属有 γ -Fe、Al、Cu 和 Ni 等。



3. 密排六方晶格 密排六方晶格的晶胞象一个正六方柱体（图 1-3c），每个晶胞含有 $\frac{1}{6} \times 12 + \frac{1}{2} \times 2 + 3 = 6$ 个原子。密排六方晶胞有两个晶格常数：六方底面的边长 a 和

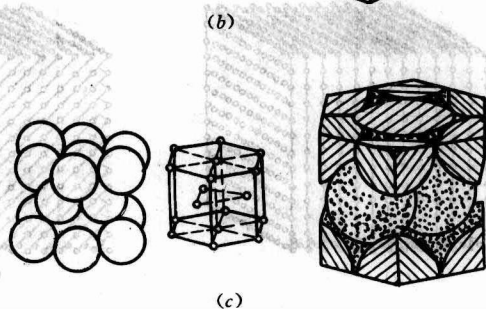


图 1-3 三种常见晶体结构（晶胞）示意图

(a) 体心立方晶胞 (b) 面心立方晶胞
(c) 密排六方晶胞

上下底面间距 c 。根据不同的金属类型, c/a 的比值一般在1.58—1.64之间。具有这类晶格的金属有Mg、Zn、Be等。

(三) 晶体结构的致密度、晶面和晶向

1. 致密度 金属晶胞体积中原子所占有的体积百分数称为致密度, 即

$$\text{致密度} = \frac{\text{晶胞中原子数} \times \text{原子体积}}{\text{晶胞体积}} \times 100\%$$

例如, 体心立方晶格的致密度计算如下: 如图1-4所示, a 为晶格常数, r 为原子半径, 即

$$\text{体心立方晶格的致密度} = \frac{2 \times \frac{4}{3} \pi r^3}{a^3} = \frac{2 \times \frac{4}{3} \pi \left(\frac{\sqrt{3}}{4} a \right)^3}{a^3} \approx 0.68 = 68\%$$

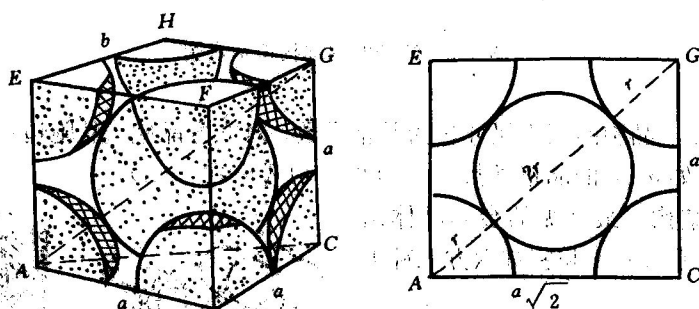


图 1-4 体心立方结构中 r 与 a 的关系

同理, 可求得面心立方晶格和密排六方晶格的致密度均为74%。可见面心立方晶格的致密度比体心立方晶格大, 所以, 发生晶格转变时会伴随着体积的膨胀或收缩。

2. 晶面及其表示法 晶格中各个方位的原子层所构成的平面叫晶面, 如图1-5所示。

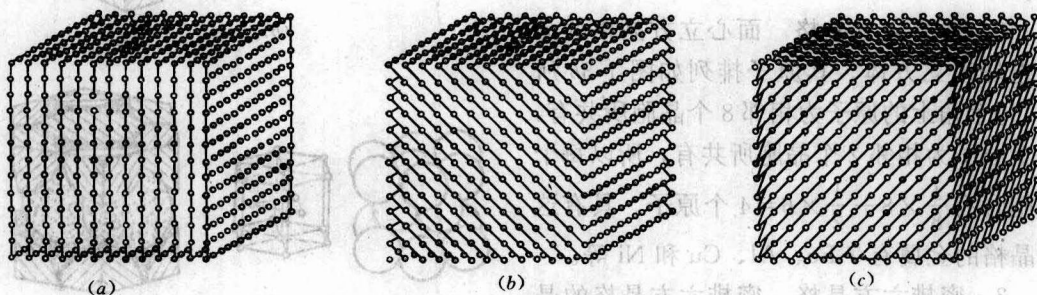


图 1-5 各种不同方位的晶面

表示各种位向的晶面的符号称为晶面指数。