

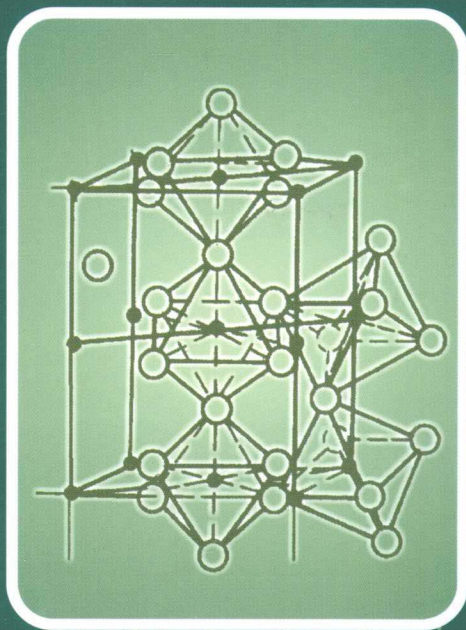


全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

丛书顾问 ▶ 李培根 林萍华

工程材料 及其应用

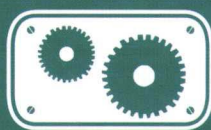
庄哲峰 张庐陵 ▶ 主编



CONGCHENG CAILIAO
JIQI YINGYONG

JK

QUANGUO PUTONG GAOJIAOYU XUEXIAO JIXIELEI SHEIYERWU QIYUWA XILIE JIAOCAI



JIXIELEI * SHIYERWU



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

全国普通高等学校机械类“十二五”规划系

工程材料及其应用

主 编 庄哲峰 张庐陵
副主编 赵亚忠 王夏冰 罗红旗
参 编 魏 敏 马 静 秦丽元

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 简 介

本书为全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材,根据教育部高等学校机械基础课程教学指导分委会 2011 年制定的《工程材料及机械制造基础》教学基本要求编写。全书分为 15 章,重点介绍工程材料的组织结构与性能及其影响因素的基本理论和基本规律,钢的热处理与表面改性技术,金属材料、高分子材料、陶瓷材料、复合材料等常用工程材料的成分、组织、性能及其应用,以及机械零件的失效分析、选材及材料的工程应用。

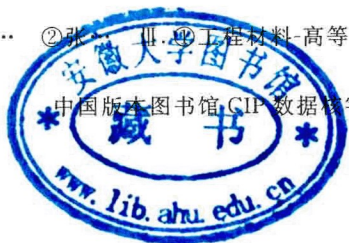
本书以“工程材料应用”为主线,精炼了传统理论知识,强化了材料表面改性技术、非金属材料及材料选择的内容。全书体系体现了机械类及近机类专业人才培养方案整体优化的原则,可作为工科院校机械类及近机类专业教材,也可供相关学科从事机械零件设计、材料加工和装备再制造行业的工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料及其应用/庄哲峰,张庐陵 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2013.6
ISBN 978-7-5609-9184-9

I. ①工… II. ①庄… ②张… III. ①工程材料-高等学校-教材 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 145024 号



工程材料及其应用

庄哲峰 张庐陵 主编

策划编辑:万亚军

责任编辑:吴 晗

封面设计:范翠璇

责任校对:祝 菲

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:华中理工大学印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:14.5

字 数:380 千字

版 次:2013 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:28.00 元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

编审委员会

顾问：李培根 华中科技大学
林萍华 华中科技大学

主任：吴昌林 华中科技大学

副主任：(按姓氏笔画顺序排列)

王生武 邓效忠 轧 钢 庄哲峰 杨 萍 杨家军
吴 波 何岭松 陈 炜 竺志超 高中庸 谢 军

委员：(排名不分先后)

许良元 程荣龙 曹建国 郭克希 朱贤华 贾卫平
丁晓非 张生芳 董 欣 庄哲峰 蔡业彬 许泽银
许德璋 叶大鹏 李耀刚 耿 铁 邓效忠 宫爱红
成经平 刘 政 王连弟 张庐陵 张建国 郭润兰
张永贵 胡世军 汪建新 李 岚 杨术明 杨树川
李长河 马晓丽 刘小健 汤学华 孙恒五 聂秋根
赵 坚 马 光 梅顺齐 蔡安江 刘俊卿 龚曙光
吴凤和 李 忠 罗国富 张 鹏 张鬲君 柴保明
孙 未 何 庆 李 理 孙文磊 李文星 杨咸启

秘 书：俞道凯 万亚军

全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

序

“十二五”时期是全面建设小康社会的关键时期,是深化改革开放、加快转变经济发展方式的攻坚时期,也是贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》的关键五年。教育改革与发展面临着前所未有的机遇和挑战。以加快转变经济发展方式为主线,推进经济结构战略性调整、建立现代产业体系,推进资源节约型、环境友好型社会建设,迫切需要进一步提高劳动者素质,调整人才培养结构,增加应用型、技能型、复合型人才的供给。同时,当今世界处在大发展、大调整、大变革时期,为了迎接日益加剧的全球人才、科技和教育竞争,迫切需要全面提高教育质量,加快拔尖创新人才的培养,提高高等学校的自主创新能力,推动“中国制造”向“中国创造”转变。

为此,近年来教育部先后印发了《教育部关于实施卓越工程师教育培养计划的若干意见》(教高〔2011〕1号)、《关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》(教高〔2011〕5号)、《关于“十二五”期间实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”的意见》(教高〔2011〕6号)、《教育部关于全面提高高等教育质量的若干意见》(教高〔2012〕4号)等指导性意见,对全国高校本科教学改革和发展方向提出了明确的要求。在上述大背景下,教育部高等学校机械学科教学指导委员会根据教育部高教司的统一部署,先后起草了《普通高等学校本科专业目录机械类专业教学规范》、《高等学校本科机械基础课程教学基本要求》,加强教学内容和课程体系改革的研究,对高校机械类专业和课程教学进行指导。

为了贯彻落实教育规划纲要和教育部文件精神,满足各高校高素质应用型高级专门人才培养要求,根据《关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》文件精神,华中科技大学出版社在教育部高等学校机械学科教学指导委员会的指导下,联合一批机械学科办学实力强的高等学校、部分机械特色专业突出的学校和教学指导委员会委员、国家级教学团队负责人、国家级教学名师组成编委会,邀请来自全国高校机械学科教学一线的教师组织编写全国普通高等学校机械

类“十二五”规划系列教材,将为提高高等教育本科教学质量和人才培养质量提供有力保障。

当前,经济社会的发展,对高校的人才培养质量提出了更高的要求。该套教材在编写中,应着力构建满足机械工程师后备人才培养要求的教材体系,以机械工程知识和能力的培养为根本,与企业对机械工程师的能力目标紧密结合,力求满足学科、教学和社会三方面的需求;在结构上和内容上体现思想性、科学性、先进性,把握行业人才要求,突出工程教育特色。同时,注意吸收教学指导委员会教学内容和课程体系改革的研究成果,根据教指委颁布的各课程教学专业规范要求编写,开发教材配套资源(习题、课程设计和实践教材及数字化学习资源),适应新时期教学需要。

教材建设是高校教学中的基础性工作,是一项长期的工作,需要不断吸取人才培养模式和教学改革成果,吸取学科和行业的新知识、新技术、新成果。本套教材的编写出版只是近年来各参与学校教学改革的初步总结,还需要各位专家、同行提出宝贵意见,以进一步修订、完善,不断提高教材质量。

谨为之序。

国家级教学名师
华中科技大学教授、博导
2012年8月



前 言

“工程材料及其应用”是高等院校机械类和近机类专业中一门必修的技术基础课程。课程的主要任务是使学生在机械制造实习的基础上,掌握常用工程材料的种类、成分、组织、性能和改性方法的知识,培养选用材料和工艺分析的初步能力及创新意识,并为学习其他相关课程及今后从事机电设计与制造工作奠定必要的基础。

本教材根据教育部高等学校机械基础课程教学指导分委会 2011 年 7 月修订的《工程材料及机械制造基础》教学基本要求编写,着力于为上述课程任务服务。在编写过程中吸取了国内外同类教材的优点,结合了编者多年的教学成果,力求使教材内容与课程任务相一致,与制造业的发展需求相适应,并着重处理好以下问题。

1. 在教材体系中,以材料的“化学成分/加工工艺—组织结构—性能—应用”为主线,以提高工程材料性能(特别是强韧化)为重点,从工程应用对材料性能要求的角度出发,展开论述和介绍。

2. 在内容处理上精炼传统理论,突出工程应用。基础理论以工程应用为目的,够用为度。其他课程有介绍的材料的性能没有单独设章,而仅在绪论中做必要的铺垫;加强了材料表面工程技术内容,以适应材料高性能化和再制造工程需要;工程材料以剖析金属材料为主,再引申对其他材料的分析,并增加了陶瓷材料和复合材料的分量;加强了机械零件的失效分析、选材及材料的工程应用等内容。

3. 在学习方法上注意引发思考,培养学生分析问题和解决问题的能力。在每章开篇都安排一个熟悉的引例,从现象引出问题,再转入相应内容,引导学生带着问题去思考和学习。

为了方便师生掌握本课程学习内容,编者还编写了《工程材料及应用学习指导书》(华中科技大学出版社出版)作为配套教材,内容包括实验指导、每章内容提要和学习方法指导等。

本书由福建农林大学庄哲峰撰写前言、绪论,并参与第 4、7 章的编写,东北农业大学秦丽元编写第 1、12、13 章;河北科技大学马静编写第 2、3 章;江西农业大学张庐陵编写第 4、11 章;绍兴文理学院王夏冰编写第 5、6、7 章;南阳理工学院赵亚忠编写第 8 章;北京工商大学罗红旗编写第 9、10 章;石河子大学魏敏编写第 14、15 章。庄哲峰、秦丽元为全书编写引例,庄哲峰、张庐陵担任主编,赵亚忠、王夏冰、罗红旗担任副主编,庄哲峰负责全书统稿。

在本书的编写过程中得到福建农林大学的资助和编者们在所在院校以及华中科技大学出版社的大力支持,参考并引用了国内外有关教材、科技论著等文献资料的内容和插图,福建农林大学唐翠勇博士、陈向文硕士做了许多具体工作,在此特向有关单位、作者和个人致以诚挚的感谢。

由于本书涉及的内容多、专业面广,限于编者的水平,书中可能还存在一些错误和不足,敬请专家与读者不吝斧正,以便在下一版进一步完善。

编 者

2013 年 3 月

目 录

绪论	(1)
0.1 工程材料及其分类	(1)
0.2 材料的特性	(2)
0.3 材料在制造工程中的作用	(6)
0.4 “工程材料及其应用”在机械工程类专业的作用	(8)
第 1 章 工程材料的组织与性能	(10)
1.1 材料的结合键	(10)
1.2 材料晶体结构的概念	(12)
1.3 金属的晶体结构	(14)
1.4 高分子材料的结构	(20)
1.5 陶瓷材料的结构	(22)
1.6 材料的组织	(24)
第 2 章 金属材料的凝固与相变	(27)
2.1 金属的结晶	(27)
2.2 合金的结晶	(31)
2.3 合金相图的基本类型	(32)
2.4 相图与合金性能的关系	(38)
第 3 章 铁碳合金相图及碳钢	(40)
3.1 铁碳合金的相与组织	(40)
3.2 铁碳合金相图	(42)
3.3 碳素钢	(51)
第 4 章 成形工艺对金属组织与性能的影响	(54)
4.1 金属铸造成形的组织与性能	(54)
4.2 熔化焊金属的结晶与相变	(57)
4.3 冷塑性变形过程的金属组织与性能	(60)
4.4 冷塑性变形金属的回复与再结晶	(63)
4.5 金属热塑性变形的组织与性能	(64)
4.6 超塑性成形	(66)
第 5 章 钢的热处理原理	(67)
5.1 钢在加热时的组织转变	(68)
5.2 钢在冷却时的组织转变	(69)

5.3	过冷奥氏体转变曲线图	(74)
第6章	钢的整体热处理	(79)
6.1	钢的退火与正火	(79)
6.2	钢的淬火	(82)
6.3	钢的淬透性	(84)
6.4	淬火钢的回火	(87)
6.5	整体热处理新技术	(89)
第7章	材料的表面改性处理	(92)
7.1	表面淬火与表面形变强化	(92)
7.2	表面化学热处理	(95)
7.3	离子渗入及注入处理	(98)
7.4	气相沉积	(100)
7.5	电镀和化学镀	(102)
7.6	表面涂覆处理	(103)
第8章	合金钢	(107)
8.1	合金钢的分类及编号	(107)
8.2	合金元素在钢中的分布及作用	(108)
8.3	工程结构用钢	(111)
8.4	机器结构用钢	(111)
8.5	专用结构钢	(117)
8.6	工具钢	(119)
8.7	特殊性能钢	(124)
第9章	铸铁	(130)
9.1	铸铁的石墨化	(131)
9.2	常用灰口铸铁	(133)
9.3	灰口铸铁的热处理	(137)
9.4	合金铸铁	(139)
第10章	非铁金属材料	(141)
10.1	铝及其合金	(141)
10.2	铜及其合金	(144)
10.3	其他非铁金属	(147)
10.4	轴承合金	(150)
10.5	粉末冶金材料	(152)
第11章	高分子材料	(154)
11.1	高分子材料概述	(154)
11.2	高分子材料的力学状态	(157)

11.3	高分子材料的结构变化	(159)
11.4	塑料的特性与分类	(160)
11.5	常用塑料	(161)
11.6	橡胶及其应用	(167)
第 12 章	陶瓷材料	(169)
12.1	陶瓷材料及其分类	(169)
12.2	陶瓷材料的制备工艺	(171)
12.3	陶瓷材料的性能	(172)
12.4	工程结构陶瓷	(174)
12.5	金属陶瓷	(177)
第 13 章	复合材料	(179)
13.1	概述	(179)
13.2	增强材料与基体材料	(183)
13.3	材料复合的基本原则	(187)
13.4	复合材料的种类及应用	(190)
第 14 章	材料选择的一般方法	(195)
14.1	机械零件的失效分析	(195)
14.2	材料选择的基本原则	(198)
14.3	材料选择的方法与步骤	(202)
第 15 章	工程材料的选择及应用举例	(204)
15.1	典型零件选材及工艺分析	(204)
15.2	机床典型零件的选材及应用	(209)
15.3	汽车典型零件的选材及应用	(212)
	参考文献	(216)

绪 论

材料是具备可供使用的性质、可以制造有用物品的物质。因此,材料与人类生产和生活有着密切的联系,是人类生存和发展的物质基础,也是人类社会现代文明的重要支柱。任何一项科学技术的进展都需要解决相关的材料问题,材料的重要作用一直受到人们的高度重视。

0.1 工程材料及其分类

工程材料是指具有一定性能,在服役条件下能实现使用性能要求,被用于制造工程结构、装备零部件和元器件的材料。

工程材料的种类繁多,按性能特点,可分为功能材料和结构材料等两类。功能材料是以特殊的物理、化学性能或生物学特性为主要要求,如具有电磁、光、热、声学、生物学等功能和效应及其转换特性的材料。如电池材料、超导材料、储氢材料、传感器材料、信息记录材料等都属于功能材料。结构材料是以力学性能为主要要求,兼备一定的物理、化学性能,用于制造承受载荷、传递动力的零部件和结构件的材料。本书介绍的工程材料主要是结构材料,即用于机械、车辆、建筑、船舶、化工等工程领域中制造工程构件和装备零部件,也包括那些用于制造工具的材料和一些具有特殊性能(如耐蚀、耐高温等)的材料。

按其化学成分组成,工程材料可分为金属材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料等四大类,如图 0.1 所示。

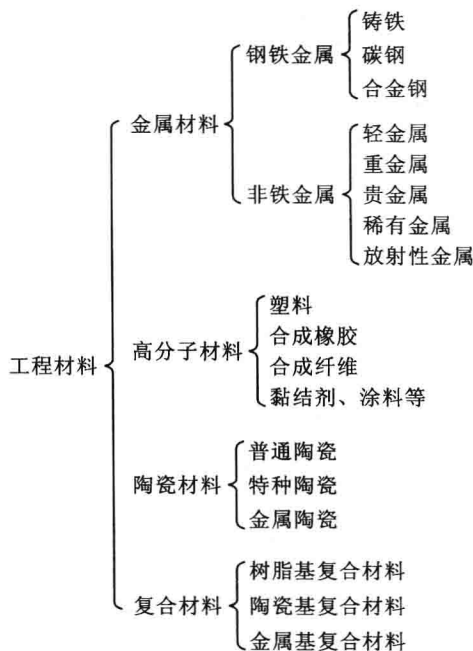


图 0.1 工程材料的分类

1. 金属材料

金属材料包括钢铁材料和非铁金属材料,具有良好的导电性、导热性、高强度、高塑性 and 金属光泽等金属特性,还具有比高分子材料高得多的强度和刚度,比陶瓷材料高得多的塑韧度。因其具有其他种类材料不可替代的独特性质和使用性能,以及成熟的工艺,仍然是目前应用最广泛的工程材料。金属材料的研究一方面采用新技术和新工艺开发具有高性能的新金属材料,如非晶态金属、纳米金属、智能金属和储氢合金等;另一方面不断开发金属与非金属相互渗透的新型复合材料。金属材料虽然走过最辉煌的时代,但其发展仍然方兴未艾。

2. 高分子材料

高分子材料是以高分子化合物为主要组成的材料。按材料来源,高分子材料可分为天然高分子材料和人工合成高分子材料等两类;按特性和用途,可分为塑料、合成橡胶、合成纤维、黏结剂和涂料等几类。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工程建设和人们日常生活中必不可少的重要材料。它们具有相对密度小、可加工性好、耐蚀性强、自润滑性好、绝缘和减振性好,以及成本低等优点,在机械、车辆、电气、化工、交通运输等工程领域中得到广泛应用。其最大缺点是耐热性差,易软化和老化,强度低,尺寸稳定性差等。因此,高分子材料的发展主要聚焦在通过聚合物的改性提高其使用性能、开发环境友好型材料,以及废弃物的高效利用等方面。

3. 陶瓷材料

陶瓷材料是指硅酸盐、金属与非金属的化合物,因其不具备金属的性质,又称无机非金属材料。它的主要结合键是离子键,同时还存在一定成分的共价键。陶瓷材料可分为三大类:一是普通陶瓷,主要原料是硅酸盐矿物,常用于日用瓷器和建筑材料;二是特种陶瓷,主要成分是人工合成化合物,如碳化物、氮化物和氧化物等,用于工程领域的耐高温、耐腐蚀、耐磨损的零件;三是金属陶瓷,即金属粉末和特种陶瓷粉末的烧结材料,主要用于切削刀具、模具和耐热零件等。陶瓷材料因具有高熔点、高硬度、耐磨和耐腐蚀,以及重量轻、弹性模量大等一系列优良特性,而得到越来越广泛的应用,特别在耐磨材料、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。陶瓷的发展主要围绕解决其易发生脆性破坏、塑性变形能力差、粉体制备和陶瓷加工工艺复杂、成本高等主要弱点展开,以及在新型结构陶瓷、生物陶瓷和其他功能陶瓷材料方面的开发研究。

4. 复合材料

复合材料是指由两种或两种以上不同成分、不同性质的材料组合而成的材料。其性能通常兼有组成材料的各项优点,还可以产生原来单一材料本身所不具备的优良性能,是一类特殊的工程材料,具有广阔的发展前景。复合材料的组成物可分为基体材料和增强材料等两类。基体材料有金属、塑料、橡胶和陶瓷等,增强材料有各种纤维和无机化合物颗粒等。复合材料已经应用到航空航天、武器装备、机械工程、能源工程、海洋工程,乃至民用建筑、交通运输、文体和日常用品等领域。在现代工业中,树脂基复合材料的应用已相对成熟,金属基和陶瓷基复合材料仍处于发展阶段。现代复合材料的新发展主要集中在复合增强理论的研究、复合材料制造工艺的发展,以及高性能低成本的复合材料等研究开发。

0.2 材料的特性

材料的特性包括两方面。一是材料的固有特性,即材料的物理特性和化学特性,如力学性

能、热性能、电磁性能、防腐性能等。材料的固有特性是由材料本身的化学成分和组织结构所决定的,是指材料在使用条件下所表现出来的性能,它受使用条件的制约,因此,从实际意义上讲,也是材料的使用性能。二是材料的派生特性,它是由材料的固有特性派生而来的,如材料的加工特性(工艺性能)和经济特性等。

0.2.1 材料的力学性能

材料的力学性能是材料在载荷作用下所表现出来的性能,主要包括强度、塑性、硬度、韧度等。

1. 强度

材料的强度是指在外力作用下,其抵抗塑性变形和破坏的能力。由于外力的作用方式不同,材料的静强度可分为屈服强度、抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗剪强度。

屈服强度是指材料抵抗外力产生塑性变形前的极限能力,用符号 σ_{eh} 和 σ_{el} (N/mm^2) 表示。

抗拉强度是指材料抵抗外力产生断裂前的极限能力,用符号 σ_m (N/mm^2) 表示。

拉伸试验可以测定材料的强度。由于工程构件和机器零件工作时不允许发生塑性变形和断裂,因此零件工作时所受应力应低于 σ_{el} 和 σ_m ,即多以 σ_{el} 和 σ_m 作为强度设计的依据。因此,屈服强度 σ_{el} 和抗拉强度 σ_m 两个强度指标在选择和评定材料及进行机械零件强度设计时具有重要意义。

2. 硬度

硬度是指材料抵抗局部塑性变形的能力,是衡量材料软硬程度的指标。材料的硬度直接影响着材料的切削加工性、零件的耐磨性和使用寿命。生产中常用压入法测定硬度,即用一定形状的压头,在一定载荷作用下,压入被测材料表面。压入后变形程度越小,则材料的硬度越高。

常用的硬度测定方法有布氏硬度(HB)测试法、洛氏硬度(HR)测试法和维氏硬度(HV)测试法等几种。

3. 塑性

材料的塑性是指在外力作用下其产生塑性变形而不破坏的能力。拉伸试验测得的塑性指标有:断后伸长率(δ)和断面收缩率(ψ)。 δ 和 ψ 的值越大,材料的塑性越好。良好的塑性不仅使材料易于实现成形,而且使制成的零件在使用过载时可通过自身的塑性变形,提高其承载能力,不致出现突然破坏。

4. 韧度

材料抵抗冲击载荷作用而不致破坏的极限能力称为冲击韧度(简称韧度)。韧度的常用指标为冲击韧度,用符号 a_k (J/cm^2) 表示, a_k 值越大,则表示材料的韧度越高。用于结构和零件制造的材料应具有较高的韧度和较小的脆性。

冲击韧度通常采用摆锤式冲击试验机测定。由于冲击韧度值对材料的组织缺陷很敏感,它能反映材料品质、宏观缺陷和显微组织等方面的变化,因此,冲击试验是生产上用于检验冶炼、热加工、热处理等工艺质量的有效方法。

5. 疲劳强度

材料在规定的重复次数或交变应力作用下不致发生断裂的能力称为材料的疲劳强度或者疲劳极限,用符号 σ_1 (N/mm^2) 表示。金属材料 and 复合材料的疲劳强度较高,陶瓷、高分子材料的抗疲劳性能很低。控制材料的内部质量,避免气孔、夹杂等缺陷,改善零件的结构设计、减小

应力集中,采取表面强化等方法可以有效提高零件的疲劳强度。

除了上述的强度、硬度、塑性、韧性、疲劳强度等性能外,还有许多很有用的力学性能指标。这些力学性能指标可以通过不同的测试方法来测试和表征,如表 0.1 所示。这些方法和性能将在“材料力学”课程中深入介绍。

表 0.1 常用的性能测试方法与对应的力学性能指标

测试方法	能够测试的性能指标
拉伸试验	弹性模量、屈服强度、抗拉强度、伸长率和断面收缩率等
压缩试验	压缩弹性模量、压缩屈服强度、抗压强度、压缩率等
硬度试验	布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度、显微硬度等
扭转试验	切变模量、扭转屈服强度、抗扭强度等
弯曲试验	弯曲弹性模量、抗弯强度、挠度等
冲击试验	冲击韧性、韧脆转变温度等
疲劳试验	疲劳强度、裂纹扩展速率、疲劳门槛值等
断裂韧性实验	断裂韧性、裂纹张开位移等
磨损试验	磨损量、摩擦因数等

0.2.2 材料的物理性能

材料的物理性能包括密度、熔点、电、磁、光、热等性能。

1. 导电性和绝缘性

导电性是指材料传导电流的能力,通常用电导率来衡量其导电性能的好坏。电绝缘性与导电性相反,通常用电阻率、介电常数和击穿强度来表示。电阻率越大、介电常数越小、击穿强度越高,材料的电绝缘性越好。金属的导电性、导热性好;陶瓷通常是良绝缘体,耐高温性能好;高分子材料密度小,导热性差、耐热性差,也是绝缘体。

2. 磁性

磁性是指材料在磁场被磁化而呈现磁性强弱的能力。根据磁化程度,材料可分为三类。

- (1) 铁磁性材料 在外加磁场的作用下,能被强烈磁化的材料,如铁、钴、镍等。
- (2) 顺磁性材料 在外加磁场的作用下,只是被微弱磁化的材料,如铬、锰、钼等。
- (3) 抗磁性材料 能抵抗或减弱外加磁场磁化作用的材料,如铝、铜、金、银等。

3. 热性能

热性能包括导热性、耐热性、耐火性和热膨胀性等。

导热性是指材料传递热量的能力,通常用导热系数来表示。导热性是选择保温材料和热交换材料的依据之一。金属材料的导热系数大,是热的良导体;高分子材料导热系数小,是热的绝缘体。导热性也是考虑加工工艺和热处理工艺的重要因素,合金钢的导热性比碳素钢的差,锻造和热处理时应采用较缓慢的加热速度升温,否则易产生裂纹;导热性差的材料在切削过程也容易导致切削刀具的温升。

热膨胀性是指材料由于温度变化产生膨胀或者收缩的性能,通常用线胀系数来表示。线胀系数以高分子材料的最大,金属材料的次之,陶瓷材料的最小。在许多工程应用中需要考虑材料的热膨胀性,如:传动轴与滑动轴承之间的配合,发动机活塞与缸套之间的配合,需要考虑

二者材料的热膨胀性以保证合理间隙;在制定铸造、焊接、热处理工艺时,需要考虑热膨胀性以减少工件的变形与开裂。

0.2.3 化学性能

材料的化学性能主要是指在常温或高温下抵抗各种介质侵蚀的能力,主要包括耐蚀性、耐候性和抗氧化性等。

耐蚀性是指材料抵抗各种介质侵蚀的能力。

耐候性是指材料在阳光、空气、雨水等自然因素作用下不发生性质变化或破坏的能力。

抗氧化性是指材料在高温或常温下抵抗表面氧化作用的能力。

对于在腐蚀介质中或在高温下工作的构件,应选用化学稳定性高的材料。例如:化工设备、医疗用具等常采用高分子材料、不锈钢来制造;而内燃机和发电设备的部分零件则常选用耐热钢来制造;宇航工业上常采用高温合金、复合材料等来制造其设备。

0.2.4 工艺性能

工艺性能是指是否易于采用热处理工艺改性或者各种成形工艺进行加工的性能,是材料物理、化学和力学性能在加工过程中的综合反映。在机械制造过程中,不同的材料有着各自适宜的加工工艺。

1. 铸造性能

铸造性能是指反映材料采用铸造方法铸成合格铸件的难易程度的性质,通常包括流动性、收缩性、吸气性、偏析倾向、铸造应力和裂纹倾向等。表 0.2 所示的是常用金属材料的铸造性能比较,可见各种材料的铸造性能不一样。

表 0.2 几种常用金属材料的铸造性能比较

材 料	流 动 性	体 积 收 缩 性	偏 析 倾 向	其 他 缺 陷
灰铸铁	好	小	小	铸造内应力小
球墨铸铁	稍差	大	小	易出现缩孔和缩松
铸钢	差	大	大	导热性差、易冷裂
铸造黄铜	好	小	较小	易形成集中缩孔
铸造铝合金	较好	小	较大	易吸气、易氧化

2. 压力加工性能

压力加工性能是指反映材料采用压力加工方法加工或成形的难易程度的性质,通常用金属的塑性和形变抗力来衡量。塑性越好、形变抗力越小,材料的压力加工性能越好。压力加工性能好的材料,可以以较小的外力进行较大的塑性变形而不致断裂。压力加工性能取决于材料的化学成分和显微组织、变形温度、变形速度和应力状态等。例如:纯金属和单相固溶体合金的压力加工性能都比较好;而钢的碳及合金元素的含量越多,其压力加工性能越差;组织中化合物的相对量越大,金属的压力加工性能越差。

3. 焊接性能

焊接性能是指将分离的材料采用一般焊接方法焊成优质焊接头的难易程度。所谓优质有两层含义:一是焊接头产生缺陷(如变形、裂纹、气孔等)的倾向小;二是焊接头的使用可靠性高。金属材料的焊接性能可以用冷裂纹敏感系数(P_C)来评价。

$$P_c = [C]_E + h/600 + w(H)/60$$

碳当量浓度 $[C]_E = [C] + [Mn]/6 + ([Cr] + [Mo] + [V])/5 + ([Ni] + [Cu])/15$, 当 $[C]_E \leq 0.4$ 时, 钢材的焊接性能好, 裂纹倾向小, 所以工程焊接结构都采用碳的质量分数小于0.25%的低碳钢来制造; 当 $[C]_E \geq 0.4$ 时, 焊缝就有明显的裂纹倾向, 碳当量浓度 $[C]_E$ 越大, 焊接头的冷裂倾向越大; 板厚度 h 越大, 焊缝的冷裂倾向越大; 焊缝中氢的质量分数 $w(H)$ 越大, 焊接头的冷裂倾向越大(易导致氢脆)。因此, 对重要焊接件要进行消氢处理(焊后对焊件加热至200℃, 保温10~15 h, 使氢气从焊缝充分析出)。

4. 切削性能

切削性能是指材料是否易于进行某种切削加工的能力。切削性能主要用切削速度、加工后零件的表面粗糙度和刀具的使用寿命等参数来衡量。材料被切削加工时, 若切削速度快、表面粗糙度低、刀具使用寿命长, 则材料的切削性能就好。影响材料切削性能的主要因素有材料的化学成分、内部组织、硬度、导热性和形变抗力等。相关内容将在第8章的“易切削钢”讨论。

0.3 材料在制造工程中的作用

0.3.1 材料的历史地位

纵观人类进化史可以清楚地看到, 材料的开发、利用和完善贯穿其始终。每一种新材料的出现和应用, 都孕育着一项新技术的诞生, 甚至导致一个领域的技术革命, 并大大加速社会的发展进程, 给社会生产和人们生活带来巨大的变化。因此, 史学家以制造生产工具所使用的材料种类划分人类生活和社会文明发展的阶段。于是, 人类的历史就有了旧石器时代、新石器(陶器)时代、青铜器时代和铁器时代, 而今人类又步入了人工合成新材料的时代。

在旧石器时代, 人类开始以石头做工具; 在新石器时代, 人类发明用黏土成形, 再用火烧固化制成陶器, 标志着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。中华民族在材料的开发和应用方面对人类社会作出了巨大贡献。在公元前5000多年前的磁山-裴李岗文化时期就用黏土烧制陶器; 在公元前1100多年的商周时期又发明了釉陶; 东汉(公元25—220)时又发明烧制瓷器, 成为世界最早生产瓷器的国家。陶瓷技术不仅成为中国古代文明的重要象征, 而且对世界文化产生了极大影响。

人类在寻找石材的过程发现了矿石, 在制陶的过程还原了金属铜和锡, 创造了炼铜技术, 使用铜生产了大量生活器皿和工具, 从而进入铜器时代。我国的青铜冶炼技术始于夏代, 到商代已达到了世界的顶峰。河南安阳出土的晚商时期的司母戊鼎、湖北江陵出土的越王勾践剑都堪称世界上古青铜器的杰作。春秋战国时期《周礼·考工记》中总结的青铜“六齐”规律揭示了青铜成分、性能和用途之间的关系, 是世界上最早的合金化工艺的科学总结。

从使用青铜发展到使用钢铁制造生产工具对社会进步发挥了巨大的推动作用。我国在青铜文化鼎盛的春秋时期开始冶铁, 比欧洲开始使用生铁早约2000年; 到了西汉已掌握了用煤作为燃料的炼铁技术, “先炼铁, 后炼钢”的两步炼钢技术也比其他国家早1600年以上, 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水平。钢铁热处理技术也达到相当高的水平, 在战国时期的刀剑金相组织中就出现淬火马氏体组织; 明代宋应星所著的《天工开物》是世界上有关金属加工最早的科学著作之一, 书中对钢铁材料的退火、淬火和渗碳等热处理工艺进行了详细论述。17世纪之后, 西欧和俄国在科学革命和产

业革命的推动下后来居上,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,工业革命又推动了材料技术的进一步发展。

在18世纪以前,人们对材料内在关系还缺乏本质认识和规律性认识,材料的制造生产基本上停留在工匠、艺人经验的水平上。直到1863年光学显微镜首次应用于材料微观组织的研究领域,建立了“金相学”,并在化学、物理和材料力学等学科研究的基础上产生了“金属学”,才揭示了金属成分、组织和性能之间的相互关系,奠定了金属材料的理论基础。1912年发现X射线衍射,人们开始了晶体微观结构的研究;1932年电子显微镜及后来各种新分析仪器的问世,把研究引入微观世界的更深入的层次,“金属学”更趋完善,大大推动了金属材料的发展。

20世纪20年代,人工合成高分子材料问世并迅速发展;20世纪50年代,通过合成化工原料和特殊制备方法生产一系列特种陶瓷材料,标志着人类正在跨入人工合成材料的时代。由于人工合成材料的资源丰富、密度小、性能优异,用途不断扩展,成为近几十年来的研究热点。金属材料与各种非金属材料相互渗透,相互结合组成一个完整的材料体系。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”和“材料科学与工程”。

材料科学是研究成分、工艺、组织、性能之间的相互关系及其规律的科学。因为一门应用科学,研究与发展材料的目的在于应用,所以,在“材料科学”问世不久,就提出“材料工程”和“材料科学与工程”的概念。英国《材料科学与工程百科全书》对其定义为:“材料科学与工程是研究有关材料组织、结构、制备工艺流程与材料性能和用途的关系,以及其知识的产生及其应用的学科。”材料的成分组织结构、材料的制备合成及加工工艺、材料的性能及材料的使用行为构成了材料科学与工程研究的四个研究要素。材料科学与工程都是高新技术发展的关键领域,发挥了先导和基础的作用。因此,世界上发达国家在制定国家科技与产业发展计划时,都将新材料科学与技术列为优先发展的关键技术予以高度重视。

0.3.2 材料在制造业的作用

制造业是工业经济时代国民经济增长的“发动机”。世界上发达国家的经济高速发展进程中,制造业都发挥了核心作用。而制造技术的提高离不开工程材料的发展和成形技术的进步。因此,材料在现代制造业中具有不可替代的重要地位和作用。

优质的机电产品是优良的设计、合理的材料选择和正确的工艺加工三者紧密联系的整体。在产品开发的过程中,设计人员首先进行功能设计和结构设计,确定产品的功能、整机和零部件的形状和尺寸,再针对整机和零部件的特定要求选择最合适的材料成分及组织状态,制定可行的加工工艺,以期制造出质量高、重量轻,既安全可靠、经久耐用又经济实惠的产品和零部件。在这个过程中,材料性能是设计、材料、工艺三者之间联系的纽带,并为设计、加工、制造提供各种正确的使用性能指标。材料为产品提供必要的功能,是产品质量的重要保证。

高性能的装备需要先进的工程材料作为物质基础。在各种装备研制过程中,原材料本身的性质是装备中各种零部件使用性能达到其设计要求的基本保证。如各种高强度和超高强度材料的发展,才使发展大型结构件和提高结构和部件的强度级别、减轻设备自重成为可能;比合金材料更高耐热性的特种陶瓷的问世,才有可能制造出比金属发动机更高热效率的陶瓷发动机。据估算燃气涡轮发动机效率与性能的提高,大约50%来自材料的改进;飞机性能的提高,材料贡献所占比例达2/3左右。

大量的事实还证明,在设计与加工过程中,材料及工艺问题往往是制约机电产品的功能、