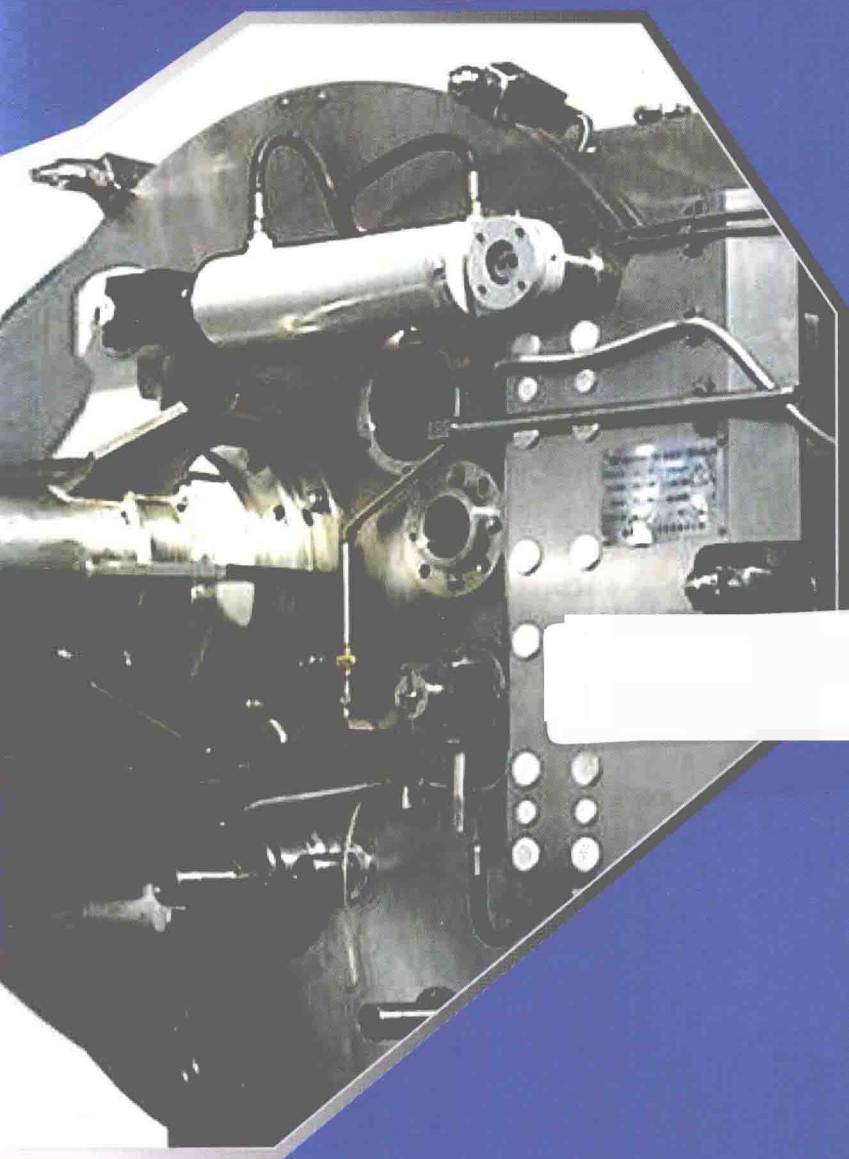


全国高职高专教育规划教材

机 · 械 · 制 · 造 · 系 · 列

机械工程材料

刘祖其 主编



全国高职高专教育规划教材

机械工程材料

Jixie Gongcheng Cailiao

刘祖其 主编



高等教育出版社·北京

HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是根据高等职业院校教学的实际情况,结合新时期高等职业院校机械材料课程教学大纲的基本要求编写的。内容包括机械材料的性能、金属和合金的晶体结构与结晶、铁碳合金相图、钢的热处理、工业用钢、铸铁、有色金属、非金属材料、新型材料、机械材料的选用共 10 章以及附录——其他新型材料。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、技师学院、成人高校机械类或近机类专业的教学用书,也可供工程技术人员参考。

本书电子教案配有较多的实物图片、现场视频、动画,以及各章节的重点、难点和全部综合练习题答案。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程材料/刘祖其主编. —北京:高等教育出版社,2012.2

ISBN 978-7-04-034333-5

I. ①机… II. ①刘… III. ①机械制造材料—高等职业教育—教材 IV. ①TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 008121 号

策划编辑 张玉海
插图绘制 尹 莉

责任编辑 张玉海
责任校对 王 雨

封面设计 张申申
责任印制 张泽业

版式设计 杜微言

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 北京机工印刷厂
开 本 787mm × 1092mm 1/16
印 张 16.5
字 数 400 千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2012 年 2 月第 1 版
印 次 2012 年 2 月第 1 次印刷
定 价 29.80 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 34333-00

前 言

本书是根据高职高专教育人才培养目标和高等职业技术学院机械工程材料课程教学大纲的基本要求,结合作者长期从事高职教学的实际情况编写的。内容包括机械工程材料的性能、金属和合金的晶体结构与结晶、铁碳合金相图、钢的热处理、工业用钢、铸铁、有色金属、非金属材料、新型材料、机械工程材料的选用共 10 章,并在附录中编排了其他新型材料,书中标有“*”号的为选学和自学内容。教材各章前面有学习目标,后面附有综合练习题。

高等职业技术学院要培养高端技能型专门人才,这样的人才需要掌握一定的基础理论、较强的实践动手能力,以及发现、分析和解决实际问题的能力。在教材编写过程中,参阅了大量的相关教材、最新论文资料,根据高职学生的特点,从实际应用出发,尽量减轻难以理解的技术原理和依据,注重教材内容的系统性、应用性及实践性,并采用了较多的实物图片。考虑到目前新理论、新材料、新技术、新工艺的高速发展,本书在第 9 章和附录,介绍了 10 类新材料,其中新能源材料类介绍 27 种新材料的性能特点、分类、应用等,指出了材料科技发展的最新知识和发展趋势。

为培养学生学习兴趣,使学生容易理解和掌握,同时又考虑方便教师授课,减少教师的备课量,本书配备了电子教案,其内容包括各章节的重点、难点和学生容易理解、掌握的实物图片、动画、视频,以及全部综合练习题的答案,需要者可与高等教育出版社相关人员(songchen@hep.com.cn)联系获取。

本书计划学时数为 40 学时(不含选学和自学内容),在实际教学过程中,各专业可根据专业需要和课时情况,适当增减内容。

本书由克拉玛依职业技术学院刘祖其教授、浙江万向系统有限公司刘国群高级工程师、北京航空航天大学计算机学院刘海博士编写,刘祖其为主编。在编写过程中得到了四川托普信息技术职业学院张雨洪、高治律、杜飞龙、向杰老师,克拉玛依职业技术学院李邦志、蒋锋利等老师的建议和帮助,山西机电职业技术学院韩静国审阅了本书,并提出了建议,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏之处,尤其是第 9 章新型材料和附录其他新型材料章节中,大部分内容是第一次作为教材公开出版,难免有些数据和个人观点欠妥,恳请读者批评指正。

编 者

2012 年 1 月

目 录

绪论	1
----------	---

第 1 章 机械工程材料的性能	3
-----------------------	---

1.1 概述	3
1.1.1 材料的力学性能	3
* 1.1.2 金属材料的物理性能和化学性能	4
1.2 强度与塑性	8
1.2.1 强度	8
1.2.2 塑性	10
1.3 硬度	11
1.3.1 布氏硬度	11
1.3.2 洛氏硬度	13
* 1.3.3 维氏硬度	15
1.4 韧性与疲劳强度	16
1.4.1 韧性	16
1.4.2 疲劳强度	17
1.5 综合练习题	18

第 2 章 金属和合金的晶体结构与 结晶	20
-------------------------------	----

2.1 金属的晶体结构	20
2.1.1 晶体与非晶体	20
2.1.2 晶体结构的基本知识	21
2.2 金属中的晶体缺陷	23
2.2.1 常见晶体缺陷及分类	23
2.2.2 晶体缺陷	24
2.3 纯金属的结晶	25
2.3.1 纯金属的结晶	25
2.3.2 金属的同素异构转变	28
2.4 合金的晶体结构及结晶	29
2.4.1 合金的基本概念	29
2.4.2 合金的晶体结构	30

2.4.3 合金的结晶	31
2.5 综合练习题	32

第 3 章 铁碳合金相图	34
--------------------	----

3.1 铁碳合金的基本组织	34
3.2 铁碳合金相图分析	35
3.2.1 Fe - Fe ₃ C 相图分析	36
3.2.2 铁碳合金的分类	38
3.2.3 典型铁碳合金的结晶过程分析	38
3.3 铁碳合金的成分、组织和性能之间 的关系	43
3.3.1 含碳量对平衡组织的影响	43
3.3.2 含碳量对力学性能的影响	44
* 3.4 铁碳合金相图的应用	45
3.4.1 选材方面的应用	45
3.4.2 加工工艺方面的应用	46
3.5 综合练习题	47

第 4 章 钢的热处理	49
-------------------	----

4.1 概述	49
4.1.1 非合金(碳)钢的缺陷	49
4.1.2 热处理的分类	50
4.1.3 热处理的工艺过程	51
4.2 钢铁材料的热处理	51
4.2.1 钢的热处理原理	51
4.2.2 钢的奥氏体形成	51
4.2.3 奥氏体晶粒长大及其影响因素	53
4.3 钢在冷却时的转变	54
4.3.1 奥氏体的等温转变	55
4.3.2 过冷奥氏体的连续冷却转变	57
4.4 钢的退火与正火	59
4.4.1 退火	59
4.4.2 正火	62

4.4.3 正火与退火的区别	62	5.4.2 低合金耐候钢	99
4.5 钢的淬火与回火	63	5.4.3 低合金专业用钢	99
4.5.1 钢的淬火	63	5.4.4 易切削结构钢	99
4.5.2 淬透性与淬硬性	68	5.5 合金钢	101
4.5.3 钢的回火	70	5.5.1 合金结构钢	101
4.5.4 淬火、回火零件分类和表面 硬度的误差范围	73	5.5.2 合金工具钢	109
4.6 钢的表面淬火	75	5.6 铸钢	119
4.6.1 感应加热表面淬火	75	5.6.1 铸钢的分类	119
4.6.2 火焰加热表面淬火	76	5.6.2 铸钢的性能特点	120
4.6.3 激光加热表面淬火	77	5.7 特殊性能钢	120
4.7 钢的化学热处理	77	5.7.1 不锈钢	120
4.7.1 化学热处理的作用	78	5.7.2 耐热钢	124
4.7.2 化学热处理的优点	78	5.7.3 耐磨钢	127
4.7.3 化学热处理的基本过程	78	*5.8 金属腐蚀及防护	128
4.7.4 渗碳	78	5.8.1 金属的腐蚀	129
4.7.5 渗氮	80	5.8.2 防止金属腐蚀的方法	130
4.7.6 碳氮共渗	81	5.9 综合练习题	131
*4.8 钢的热处理新技术	82	第6章 铸铁	135
4.8.1 气相沉积	82	6.1 概述	135
4.8.2 可控气氛热处理	82	6.2 铸铁的分类及石墨化影响因素	135
4.8.3 真空热处理	83	6.2.1 铸铁的分类	135
4.8.4 形变热处理	84	6.2.2 铸铁的石墨化及其影响因素	137
4.8.5 激光热处理	84	6.3 灰铸铁	140
4.8.6 电子束热处理	85	6.3.1 灰铸铁的成分、组织、性能 特点和用途	140
4.9 综合练习题	85	6.3.2 灰铸铁的牌号及用途	141
第5章 工业用钢	88	6.3.3 热处理	143
5.1 钢的分类与编号	88	6.4 球墨铸铁	144
5.1.1 钢的分类	88	6.4.1 球墨铸铁的化学成分、组织 和性能	144
5.1.2 钢的编号	90	6.4.2 球墨铸铁的牌号及用途	145
5.2 钢铁中常见元素存在的影响	91	6.4.3 球墨铸铁的热处理	145
5.3 非合金钢	93	6.5 可锻铸铁	147
5.3.1 普通非合金结构钢	93	6.5.1 可锻铸铁的化学成分、组织 和性能	147
5.3.2 优质非合金结构钢	94	6.5.2 可锻铸铁的牌号及用途	148
5.3.3 非合金工具钢	96	6.6 蠕墨铸铁	149
5.4 低合金钢	97		
5.4.1 低合金高强度结构钢	98		

6.6.1 蠕墨铸铁的化学成分、组织和性能	149	第8章 非金属材料	185
6.6.2 蠕墨铸铁的牌号及用途	149	8.1 高分子材料	185
6.7 合金铸铁	150	8.1.1 概述	185
6.7.1 耐磨铸铁	150	8.1.2 塑料	186
6.7.2 耐热铸铁	151	*8.1.3 橡胶	190
6.7.3 耐蚀铸铁	152	*8.1.4 胶黏剂	194
6.8 综合练习题	152	8.2 陶瓷材料	195
第7章 有色金属	154	8.2.1 陶瓷的分类	196
7.1 概述	154	8.2.2 陶瓷的组成及性能特点	196
7.2 铝及铝合金	155	8.2.3 常用工业陶瓷	197
7.2.1 工业纯铝	155	8.3 复合材料	199
7.2.2 铝合金的分类	155	8.3.1 复合材料的分类	199
7.2.3 铝合金的热处理	156	8.3.2 复合材料的性能	200
7.2.4 变形铝合金	157	8.3.3 常用复合材料	201
7.2.5 铸造铝合金	160	8.3.4 新技术复合材料	202
7.3 铜及铜合金	163	8.4 综合练习题	203
7.3.1 工业纯铜	164	第9章 新型材料	205
7.3.2 黄铜	164	9.1 概述	205
7.3.3 青铜	166	9.2 纳米材料	205
7.3.4 白铜	169	9.2.1 概述	205
7.4 钛及钛合金	170	9.2.2 纳米材料的性能	206
7.4.1 纯钛	170	9.2.3 纳米材料的制备与应用	208
7.4.2 钛合金	171	*9.3 超导材料	209
7.5 轴承合金	172	9.3.1 概述	209
7.5.1 对轴承合金性能的要求	172	9.3.2 超导材料的特性	209
7.5.2 轴承合金的组织	172	9.3.3 超导材料的分类	210
7.5.3 常用的轴承合金	173	9.3.4 超导材料的应用	211
*7.6 镁及镁合金	176	*9.4 形状记忆合金材料	212
*7.7 锌及锌合金	177	9.4.1 概述	212
7.8 粉末冶金材料	178	9.4.2 形状记忆合金	212
7.8.1 概述	178	9.4.3 形状记忆效应	213
7.8.2 材料的工艺性能	178	9.4.4 形状记忆合金的分类及应用	213
7.8.3 材料的优越性能	179	*9.5 非晶态合金材料	214
7.8.4 硬质合金	180	9.5.1 概述	214
7.9 综合练习题	182	9.5.2 非晶态合金的性能特点	215

9.5.3 非晶态合金的制备与应用	215	2.2 生态环境材料的研究	234
9.5.4 微晶合金	216	2.3 生态环境材料的可持续发展	235
*9.6 磁性材料	216	附3 纺织新材料	235
9.6.1 概述	216	3.1 概述	235
9.6.2 磁性材料的分类与应用	216	3.2 超细纤维	235
9.7 综合练习题	218	3.3 蜘蛛丝纤维	236
第10章 机械工程材料的选用	219	3.4 超柔软纤维	237
10.1 机械零件的失效分析	219	3.5 超蓬松材料	237
10.1.1 零件失效的概念	219	3.6 功能性纤维	237
10.1.2 零件的失效形式	219	附4 电子信息材料	238
10.1.3 零件失效的原因	220	4.1 概述	238
10.2 机械零件的选材原则	221	4.2 电子信息材料的分类	238
10.2.1 材料的使用性能	223	4.3 电子信息材料的应用和发展趋势	238
10.2.2 材料的工艺性能	223	附5 新能源材料	239
10.2.3 材料的经济性能	224	5.1 概述	239
10.3 典型零件的选材实例	224	5.2 氢能	240
10.3.1 齿轮零件的选材	224	5.3 太阳能	240
10.3.2 轴类零件的选材	226	5.4 核能材料	241
10.3.3 箱体类零件的选材	229	5.5 风能	241
10.4 综合练习题	230	5.6 海洋能	242
附录 其他新型材料	232	5.7 生物质能	244
附1 生物医用材料	232	5.8 地热能	246
1.1 概述	232	5.9 水能	246
1.2 生物医用材料的分类	232	5.10 可燃冰	247
1.3 生物医用材料的应用	232	5.11 煤层气	247
附2 生态环境材料	234	5.12 微生物	248
2.1 概述	234	附6 已问世的10种未来材料	248
		参考文献	254

绪 论

一、机械工程材料在机械制造中的作用

材料的种类很多,用途极为广泛,分类方法有:按工业工程分为机械工程材料、土建工程材料和电工材料等;按物质结构分为金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料和复合材料等;按用途分为结构材料 and 功能材料等。本书主要涉及的是机械工程材料。

机械工程材料是人类社会发展的物质基础,可用来制造各种产品,满足人类生产和生活中的各种需要。它的品种、数量和质量是衡量一个国家现代化程度的重要标志。每一种新材料的发明和应用,都使社会生产和生活发生重大的变化,并有力地推动着人类文明的进步。所以,历史学家以材料的生产和使用作为文明进步的尺度来划分古代社会发展阶段,如石器时代、陶器时代、青铜器时代、铁器时代。如今,人类社会已经进入人工合成材料和复合材料的新时代。

机械工程材料包括金属材料、非金属材料 and 复合材料等。金属材料目前仍是最主要的材料,尤其是钢铁材料在机械工程中依然占首要地位,是现代化工业、农业、国防和科学技术等部门使用最多的材料,从日常生活用品到高科技产品,从简单的手工工具到复杂的机器,都使用了不同种类、不同性能的金属材料,如汽车、数控机床、内燃机车、远洋巨轮、宇宙飞船、机器人、劳动工具、农用机器等。由金属材料制造的产品不仅装备了我国国内各个生产领域,而且有相当数量的金属材料及其产品远销世界很多国家。

二、材料的发展史

材料为国民经济的发展提供了可靠的物质保障,早在 4 000 多年前我国就开始使用青铜,在春秋时期,我国发明了冶铁技术,开始用铸铁做农具,这比欧洲国家早了 1 800 多年。明朝宋应星所著《天工开物》一书内就有冶铁、炼钢、铸钟、锻铁、淬火等各种金属加工方法,它是世界上有关金属加工工艺最早的科学著作之一,这充分反映了我国人民在金属加工工艺方面的卓越成就。我国是世界上最早使用金属材料及热处理技术的国家之一。但是到了近代,由于封建制度的日益腐败和帝国主义的侵略与压迫严重阻碍了我国科学技术的发展,使我国的材料技术在新中国成立前处于极为落后的状态。

世界各国对材料的研究和发展都是非常重视的。如苏联在 1957 年把第一颗人造卫星送入太空,令美国人震惊,并认识到在导弹火箭技术上落后了,因此在其后的十年里,他们在十多所大学中陆续建立了材料科学研究中心,并把约 2/3 大学的冶金系或矿冶系改建成了冶金材料科学系或材料科学与工程系。高新技术需要先进材料的支持。新中国成立后,我国在材料方面,尤其是在金属材料及热处理技术方面有了突飞猛进的发展,促进了冶金、机械制造、石油化工、仪器仪表、航空航天等现代化工业的进步。原子弹、氢弹、导弹、人造地球卫星、超导材料、纳米材料、载人航天器等重大项目的研究与试验成功,尤其是 2011 年 11 月 3 日天宫一

号与神舟八号交会对接成功标志着我国的材料技术达到了一个新的水平。

我国当前的材料已发展到成千上万种,涉及社会经济生活的几乎所有方面。新材料层出不穷,据统计每年出现的新材料达3 000多种。

三、本书的内容及特点

本书的主要内容包括机械工程材料的性能、金属和合金的晶体结构与结晶、铁碳合金相图、钢的热处理、工业用钢、铸铁、有色金属、非金属材料、新型材料、机械工程材料的选用各章后附有综合练习题,可帮助学生更好地掌握基本概念和基本理论知识。

本课程具有知识面宽、综合性强和实用性强等特点,是高等职业技术学院机械类、近机械类专业的一门专业技术基础必修课程。它是从生产实践中发展起来,又直接为生产服务的一门课程,材料的种类多、概念多、名词多,内容抽象,比较难理解,学习中要注意归纳、总结,要注意理论联系实际。

四、学习本课程的目的和任务

掌握常用机械工程材料的性能,熟悉材料成形原理及工艺的基础知识,熟悉材料改性的常用方法,具有初步选择材料、毛坯成形方法和材料改性方法的能力,为学习其他后续课程和今后从事机械制造与设计方面的工作奠定必要的工艺基础。

学完本课程后应达到下列基本要求:

- 1) 熟悉常用机械工程材料的种类、成分、组织结构、性能、变化规律和应用范围以及选择原则。
- 2) 具有选择毛坯及工艺分析的初步能力。
- 3) 掌握零件的结构成形工艺性能。
- 4) 了解与本课程有关的新材料、新工艺、新技术及其发展概况。

第1章 机械工程材料的性能

[学习目标]

- (1) 熟悉机械工程材料的分类、性能特点。
- (2) 了解金属材料的拉伸、冲击、硬度试验。
- (3) 掌握本章的重点——金属材料的力学性能。
- (4) 了解金属材料的物理性能和化学性能，熟悉金属材料的工艺性能。
- (5) 理解强度、刚度、弹性、塑性、硬度、冲击韧性、疲劳强度等有关名词的定义和范围。
- (6) 学会利用掌握的知识对日常生活中的现象进行分析和思考，试一试能否用学到的理论知识对遇到的实际问题或现象进行科学的解释。
- (7) 在学习时要尽量将自己的感性认识与教学内容相联系，要学会对所学的知识进行分类、归纳和整理，提高学习效率；初步认识有关机械制造的基本过程，为以后学习后续章节奠定基本知识。

机械工程材料因其特有的性能特点而被广泛应用于机械制造行业中。为了设计制造具有较强竞争力的产品，必须了解和掌握材料的各种性能，以便使产品在设计、选材和制造等方面性能最好。材料的性能包括使用性能和工艺性能。使用性能是指材料在使用过程中所表现出来的性能，它包括力学性能、物理性能和化学性能等；工艺性能是指材料在各种加工过程中所表现出来的性能，主要包括铸造、锻造、焊接、切削加工、热处理等性能。在机械行业中选用材料时，一般以力学性能作为主要依据。力学性能是衡量材料性能优劣的主要指标，也是机械设计人员在设计过程中选材的主要依据。机械工程材料的分类如图1-1所示。



图 1-1 机械工程材料的分类

1.1 概述

1.1.1 材料的力学性能

机械工程材料的力学性能是指材料在外力的作用下所显示的与弹性和非弹性反应相关或涉

及应力应变关系的性能,材料的力学性能是衡量工程材料性能优劣的主要指标,也是设计过程中选材和进行设计计算、工艺评定等的主要依据。材料的力学性能主要包括弹性、强度、硬度、塑性、韧性、疲劳强度等。物体受外力作用后导致物体内部之间相互作用的力称为内力,单位面积上的内力则为应力 σ (单位为MPa)。

材料的力学行为是指材料在外力作用下的表现或反应,如材料在各种条件下的变形与断裂行为,习惯上称为力学行为。材料的力学行为遵循“弹性变形→塑性变形→断裂”的变化过程,材料在载荷作用下,对于塑性材料来说会产生弹性变形、塑性变形,直至断裂。

1. 弹性变形

弹性变形是指物体受外力作用发生了变形,撤销外力后物体发生的变形完全消失,恢复到原始状态的变形。

2. 塑性变形

塑性变形是指载荷增加到一定程度时,材料发生的变形不能完全消失而一部分被保留下来,被保留的变形称为塑性变形或永久变形。

塑性是指金属在断裂前发生不可逆永久变形的能力。

3. 断裂

断裂前出现明显宏观塑性变形的断裂称为韧性断裂,在断裂前没有宏观塑性变形的断裂称为脆性断裂。

*1.1.2 金属材料的物理性能和化学性能

金属材料的物理性能是指金属在重力、电磁场、热力(温度)等物理因素的作用下,所表现出的性能或固有的属性,主要包括密度、熔点、热膨胀性、导电性、导热性和磁性。这些都是材料的固有特性,不同用途的机械零件,对其物理性能的要求也各不相同。

金属材料的化学性能是指金属抵抗各种化学介质作用而表现出来的性能,主要的化学性能有耐腐蚀性、抗氧化性和化学稳定性等。

1. 金属材料的物理性能

(1) 密度

材料的密度是指同一温度下单位体积物质的质量,用符号 ρ 表示,单位为 g/cm^3 或 kg/m^3 。材料的密度与水的密度之比叫相对密度。不同金属材料的密度是不同的。在体积相同的情况下,金属材料的密度越大,其质量(重量)也就越大。金属材料的密度关系到产品的重量和效能。如发动机要求质轻和惯性小的活塞,常采用密度小的铝合金制造。在航空工业领域中,密度更是选材的关键性能指标之一。

金属材料按照密度的大小可分为轻金属和重金属。一般密度小于 $5\text{ g}/\text{cm}^3$ 的金属称为轻金属,如铝、镁、钛及其合金;密度大于 $5\text{ g}/\text{cm}^3$ 的金属称为重金属,如铁、铅、钨等。

(2) 熔点

熔点是指金属材料由固态向液态并有一定潜热吸收或放出时的转变温度。纯金属及其合金都具有固定的熔点。熔点是制定冶炼、铸造、锻造和焊接等热加工工艺规范的一个重要的参数。金属可分为低熔点金属(低于 $700\text{ }^{\circ}\text{C}$)和难熔金属两种。难熔金属如钨、钼、钽、铌等常用来制造耐高温的零件。铅、锡、锌等易熔金属常用来制造熔丝、易熔安全阀等零件。对于非

金属材料,如陶瓷材料的熔点一般都显著高于金属及合金的熔点;而高分子材料、复合材料一般没有固定的熔点。

不同用途的机械零件,对材料密度和熔点的要求也不同,如飞机和航空器的许多零件采用密度较小的铝、镁合金制造,又如铸钢、铸铁和铸铝合金的熔点各不相同,铸造时三者的熔炼工艺也不同。

(3) 导热性

材料的导热性是指材料传导热量的能力,一般用热导率来衡量材料导热性的好坏。材料的热导率越大,说明其导热性越好。纯金属的导热性比合金好,银、铜的导热性最好,铝次之。非金属材料中,碳(金刚石)的导热性最好。一般来说,金属纯度越高,其导热性就越好。

合金钢的导热性比纯金属差,一般合金钢在进行热处理加热时的加热速度应缓慢,以保证工件或坯料内外温差小,减少变形和开裂倾向。但金属与合金钢的导热性远远好于非金属,塑料的热导率只有金属的1%左右。导热性差的金属材料切削加工也比较困难。

导热性是金属材料的重要性能之一,在热加工时,必须考虑金属材料的导热性,防止材料在加热和冷却中产生过大内应力,导致零件变形和开裂。如在制造热交换器、散热器及活塞等零件时,就要注意选用导热性好的金属。在制定焊接、锻造、铸造和热处理工艺时,必须考虑材料的导热性,防止金属材料在加热或冷却过程中形成较大的内应力,避免金属材料变形或开裂。反之,氮化硅、氧化硅等导热性差的陶瓷材料,可用于制造汽车排气管的陶瓷衬管和柴油机分隔燃烧室镶块等零部件。导热性好的材料其散热性能也好。

(4) 热膨胀性

材料的热膨胀性是指材料随着温度的变化发生膨胀、收缩的特性,一般用线膨胀系数 α_l 和体膨胀系数 α_v 来表示。金属受热时膨胀,体积也会增大;冷却时收缩,体积也会缩小。热膨胀系数越大,金属的尺寸或体积随温度变化的程度就越大。热膨胀性不仅影响零件在工作时的尺寸精度,而且也影响其成形过程。一般高分子材料的线膨胀系数最高,金属次之,陶瓷的线膨胀系数最低。用膨胀系数大的材料制造的零件,在温度变化时其尺寸和形状变化较大。

常温下工作的普通机械零件可不考虑其热膨胀性的影响,但在一些特殊场合就必须考虑其影响,如火车两根钢轨衔接处应留有一定的空隙,以便钢轨在长度方向有膨胀的余地,轴与轴瓦之间要根据膨胀系数来控制其间隙尺寸,精密仪器仪表的关键零件热膨胀系数均要求小。工程中也常利用材料的热膨胀性来装配或拆卸配合过盈量较大的机械零件。制定焊接、热处理、铸造等工艺时也必须考虑材料热膨胀性的影响。

(5) 导电性

导电性是指材料能够传导电流的能力,纯金属中银的导电性最好,其次是铜、铝。工程中为减少电能损耗常采用纯铜或纯铝作为输电导体,而采用导电性差的材料(如Fe-Cr、Ni-Cr、Fe-Cr-Al等合金)作为加热元件。在高频电路中则采用具有优良导电性的镀银铜线。非金属材料中,高分子材料都是绝缘体,陶瓷材料一般情况下是良好的绝缘体,但某些特殊成分的陶瓷如压电陶瓷却是具有一定导电性的半导体材料。

金属的导电性常用电阻率 ρ 和电导率 δ 表示。长1 m、截面积为1 mm²的物体,在一定温度下所具有的电阻,叫做电阻率,单位是 $\Omega \cdot \text{m}$ 。电阻率越小,导电性就越好。

(6) 磁性

磁性是指金属材料在磁场中被磁化而呈现磁性强弱的性能或导磁的能力, 又称为导磁性, 通常用磁导率 μ 来表示, 单位为 H/m 。目前应用的磁性材料有金属和陶瓷两类。根据金属材料在磁场中受到磁化程度的不同, 金属材料可分为铁磁材料、顺磁材料和抗磁材料。工程中常利用材料的磁性制造机械及电气零件。

铁磁材料: 铁、钴、镍等金属及合金为铁磁材料, 它们在外磁场中能强烈地被磁化, 主要用于制造变压器、继电器的铁心、测量仪表、电动机转子和定子等零部件。

顺磁材料: 锰、铬等材料为顺磁材料, 它们在外磁场中呈现十分微弱的磁性。

抗磁材料: 铜、锌等材料能抗拒或削弱外磁场的磁化作用, 应用于仪表壳等要求不易磁化或能避免电磁干扰的零件。抗磁材料常用做要求避免电磁场干扰的零件和结构材料。

陶瓷磁性材料统称为铁氧体, 常用于制作电视机、电话机、录音机及动圈式仪表的永磁体。

磁性只存在于一定的温度范围内, 当高于一定温度时, 磁性就会消失。如铁在 $770\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上就会失去磁性。

2. 金属材料的化学性能

(1) 耐腐蚀性

金属材料的耐腐蚀性是指金属材料在常温下抵抗周围介质(如大气、燃气、水、酸、碱、盐、有毒气体等)侵蚀的能力。腐蚀包括化学腐蚀和电化学腐蚀两种。化学腐蚀一般在干燥气体及非电解液中进行, 腐蚀时没有电流产生; 电化学腐蚀在电解液中进行, 腐蚀时有微电流产生。碳钢、铸铁的耐腐蚀性较差, 钛及其合金、不锈钢的耐腐蚀性较好, 铝和铜也有较好的耐腐蚀性。

金属制品的腐蚀防护十分重要。如对汽车上易腐蚀的零部件, 一方面要采用耐腐蚀性好的不锈钢、铝合金等材料制造; 另一方面可采用适当的涂料进行涂覆, 以起防腐蚀、锈斑的作用。当然, 对于不同介质中工作的金属材料的耐腐蚀性要求是不相同的。如海洋设备及船舶用钢, 必须耐海水和海洋大气腐蚀; 而贮存和运输酸类的容器、管道等, 必须具有较好的耐酸性。有的金属材料在某种介质、某种条件下是耐腐蚀的, 但在另一种介质或条件下就可能不耐腐蚀。如铜及铜合金在一般大气中耐腐蚀, 但在氨水中却不耐腐蚀。

对工作在高温或腐蚀性介质中的材料, 要优先考虑其化学性能, 必要时应选用耐热钢、不锈钢、陶瓷材料、复合材料及工程塑料来制造。

大多数高分子材料如陶瓷材料和塑料等都具有优良的耐腐蚀性。被誉为塑料王的聚四氟乙烯, 不仅耐强酸、强碱等强腐蚀剂, 甚至在沸腾的王水中其性能也非常稳定。

(2) 抗氧化性

抗氧化性是指金属材料在高温下抵抗氧化作用的能力。金属材料的氧化随温度升高而加速, 如钢材在锻造、铸造、热处理、焊接等热加工作业时, 氧化比较严重。氧化不仅会造成材料的损耗, 还会形成各种缺陷, 因此必须采取措施, 避免金属材料发生氧化。如在钢中加入 Cr 、 Si 等元素, 可大大提高钢的抗氧化性。在高温下工作的发动机气门、内燃机排气阀等零部件, 就是采用抗氧化性好的材料来制造的。

(3) 化学稳定性

金属材料的化学稳定性是指材料的耐腐蚀性与抗氧化性的总称。金属材料在高温下的化学

稳定性称为热稳定性。在高温(高压)条件下工作的锅炉、各种加热炉、汽轮机、内燃机、喷气发动机中的零件等都要求选择热稳定性好的材料来制造。

3. 工艺性能

工艺性能是指将金属材料制成机械零件的过程中,采用某种加工方法制成成品的难易程度。材料的工艺性能是指材料适应加工工艺要求的能力,按成形方法的不同,可分为铸造性能、可锻性能、焊接性能、切削加工性能及热处理工艺性能等。在设计机械零件和选择加工方法时都要考虑材料的工艺性能,如低碳非合金钢的锻造性能和焊接性能都很好,而灰铸铁的铸造性能和切削加工性能优良,但焊接性能差而且不能锻造,只能用它来铸造机械零件。

(1) 铸造性能

铸造性能是指金属及合金在铸造成形过程中获得优良铸件的能力,衡量铸造性能的指标有流动性、收缩性和偏析等。

流动性:液态金属填充铸型的能力称为流动性,它受金属及合金的化学成分、浇注温度、铸型填充条件等的影响。一般流动性好的金属,容易填充铸型,可获得轮廓清晰、外形完整、尺寸精确的铸件。

收缩性:液态金属在凝固和冷却过程中,体积和尺寸减小的现象称为收缩性。影响收缩性的因素有化学成分、浇注温度、铸型条件等。要获得形状和尺寸符合技术要求、组织致密的健全铸件,就要选用收缩率小的金属及合金。

偏析:液态金属凝固后,铸件内部出现化学成分和组织不均匀的现象称为偏析。偏析使铸件各部分的性能不一致,使铸件的化学性能不均匀,耐腐蚀性降低,质量变差。在生产中要设法消除或减轻偏析,对大型铸件尤其应当注意。

(2) 可锻性能

可锻性能是指金属材料利用锻造加工方法成形的难易程度。可锻性能的好坏常用金属的塑性和变形抗力来衡量。塑性越好,变形抗力越小,金属的可锻性能就越好。金属的可锻性能取决于金属的本质和加工条件,如黄铜和铝合金在室温状态下就有良好的可锻性能,碳钢在加热状态下可锻性能也较好,但铸铁不能锻造。非合金钢在加热状态下可锻性能也较好,而铸铜、铸铝等基本上不能锻造。

(3) 焊接性能

焊接性能是指材料在一定的焊接工艺条件下获得良好焊接接头的难易程度。焊接性能好的金属能获得没有裂缝、气孔等缺陷的焊缝,并且焊接接头具有良好的力学性能。

实际上焊接结构所用的金属材料大多数是钢材。影响钢材焊接性能的主要因素是其化学成分,尤其是碳的影响最明显,随着钢含碳量的增加,其焊接性能逐渐下降。如低碳钢具有良好的焊接性能,并都能获得良好的焊接接头;但高碳钢、不锈钢、铸铁的焊接性能较差。

(4) 切削加工性能

切削加工性能是指金属在切削加工时的难易程度。切削加工性能一般从刀具的耐用度、许用切削速度、加工后的表面粗糙度、断屑情况等几方面来综合衡量。影响切削加工性能的因素主要有材料的化学成分、组织状态、硬度、韧性和导热性等。材料硬度在 170~250 HBW 时最易切削加工。铸铁、铜合金、铝合金及非合金钢都具有较好的切削加工性能,高合金钢的切削

加工性能较差。但是,材料加工的难易也不是一成不变的,在实际生产中,常采用一些措施来改善材料的切削加工性能。如通过热处理改变材料组织,以改善材料切削加工性能。

1.2 强度与塑性

强度是指金属材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。该能力越大则强度越高。根据受力状况的不同,材料的强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗扭强度和抗剪强度等。金属材料的强度和塑性指标可以通过拉伸试验测得。

1.2.1 强度

强度指标一般用单位面积所承受的载荷表示,符号为 σ ,单位为MPa。在工程中常用的强度指标有屈服强度和抗拉强度。屈服强度是指金属材料在外力作用下,产生屈服现象时的应力,或是开始出现塑性变形时的最低应力值,用 σ_s 表示。抗拉强度是指金属材料在拉力的作用下,被拉断前所能承受的最大应力值,用 σ_b 表示。对于大多数机械零件,工作时不允许产生塑性变形,因此,屈服强度是零件强度设计的依据;对于因断裂而失效的零件,采用抗拉强度作为其强度设计的依据。

1. 拉伸试验

拉伸试验测定材料强度指标的常用方法是在静载荷下对试样进行轴向拉伸,测量拉伸力和相应的试样伸长。拉伸时一般将拉伸试样拉至断裂。

(1) 拉伸试样

通常采用圆柱形拉伸试样,按国家标准有关规定将试样制成一定形状和尺寸的标准拉伸试样。拉伸试样分为短试样和长试样两种,一般工程上采用短试样。如图1-2所示,图1-2a为标准试样原始长度,图1-2b为标准试样拉断后的长度。 d_0 为标准试样的原始直径, d_1 为试样断口处的直径。 L_0 为标准试样的原始标距, L_1 为拉断试样对接后测出的标距长度。对圆柱形

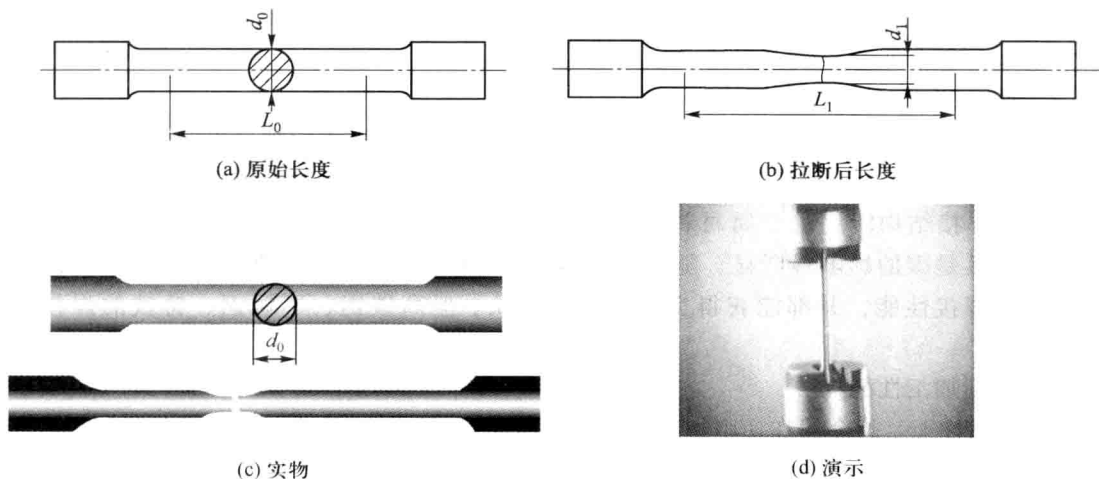


图1-2 圆柱形拉伸试样简图

拉伸试样，长试样 $L_0 = 10d_0$ ；短试样 $L_0 = 5d_0$ 。

(2) 试验方法

拉伸试验在拉伸试验机上进行。试验时，将拉伸试样装夹在拉伸试验机夹头上，使试样承受轴向拉力，缓慢增大拉伸力。随着拉伸力的不断增加，试样伸长量也不断增加，直至拉断为止。在整个拉伸过程中，试验机的自动记录装置可将拉伸力(F)与伸长量(ΔL)记录在坐标上，即得到拉伸力和伸长量的关系曲线，称为拉伸曲线，如图 1-3 所示。

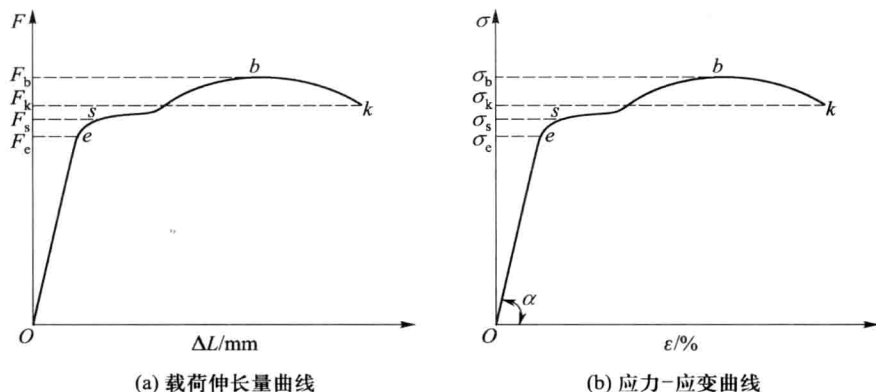


图 1-3 拉伸曲线图

(3) 拉伸曲线图

根据拉伸曲线图，在拉伸试验的开始阶段，试样的伸长量 ΔL 与拉伸力 F 之间成正比例关系。当拉伸力由零逐渐增加到曲线上的 Oe 段时，伸长曲线为一条斜直线。在该阶段，当试样的拉伸力增加时，试样伸长量 ΔL 也呈正比增加。当撤销拉伸力后试样伸长变形消失，恢复到原来的形状和尺寸，表现为弹性变形。试样保持弹性变形的最大拉伸力为 F_e 。

当拉伸力超过 F_e 时，试样将产生塑性变形，撤销拉伸力后，变形不能完全恢复，出现微小的塑性变形。

当拉伸力继续增加到 F_s 时，曲线上出现锯齿形(或水平)线段，即在拉伸力不再增加的情况下，试样也会继续伸长，这种现象称为屈服现象。拉伸力 F_s 称为屈服拉伸力。当拉伸力超过 F_s 后，试样产生大量的塑性变形，直到最大拉伸力为 F_b 时，曲线上表现为一段上升的曲线。

当拉伸力达到 F_b 时，试样的局部截面开始收缩，变形局限在缩颈部分。截面迅速缩小，最终导致试样被拉断。曲线上表现为一段下降的曲线。 F_b 是试样拉断前能承受的最大拉伸力，即极限拉伸力。

在拉伸曲线图上可以看出，试样从开始拉伸到断裂要经过弹性变形、屈服、变形强化、缩颈与断裂四个阶段。

2. 强度指标

金属材料的强度是用应力来度量的。单位截面上的内力称为应力，用符号 σ 表示。内力是指材料在外力作用下发生变形时，内部产生的阻止变形的抗力。

金属材料常用的强度指标有弹性极限、屈服点(屈服强度)和抗拉强度。