

民航运输类专业“十二五”规划教材
高等职业教育“十二五”规划教材

航空工程材料及应用

张琳 王仙萌 主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

民航运输类专业“十二五”规划教材
高等职业教育“十二五”规划教材

航空工程材料及应用

张琳 王仙萌 主编

国防工业出版社

ISBN 978-7-118-09042-4
定价：39.00元

内 容 简 介

本书可分为三部分。第一部分是材料科学基础理论,主要讲述材料的性能、材料的微观结构、材料的凝固、铁碳合金相图及金属的塑性变形与再结晶。第二部分是热处理理论,主要讲述热处理原理及工艺方法。第三部分是常用的工程材料及材料的选用,主要讲述金属材料(碳钢和合金钢、铸铁、有色金属、高温合金)、非金属材料、模具用特殊材料,以及典型零件的材料选用。

本书可作为高职院校材料类和机械类等各专业航空工程材料和材料科学基础等课程的教材,也可作为继续教育同类专业的教材,还可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

航空工程材料及应用 / 张琳,王仙萌主编. —北京:国防工业出版社,2013.9

民航运输类专业“十二五”规划教材

ISBN 978-7-118-09045-1

I. ①航… II. ①张… ②王… III. ①航空材料—高等学校—教材 IV. ①V25

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第201194号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 19½ 字数 448千字

2013年9月第1版第1次印刷 印数 1—4000册 定价 42.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

《航空工程材料及应用》

编委会

主 编 张 琳 王仙萌

副主编 惠媛媛

参 编 李 艳 牛芳芳 苗高蕾

主 审 马康民 党 杰

前 言

本书结合企业调研和航空材料类各专业的教学需要,以“材料科学基础理论”、“热处理理论”和“常用工程材料”为主,有机整合所涉及的各种材料和多学科知识的复杂内容编写而成。

本书具有以下特色:

1. 内容具有“实用性”、“全面性”和“新颖性”

本着“必须够用”的原则精心安排内容,学生入岗后需用的内容尽可能地写入,内容“全面”;其次,重点突出工业生产中常用工程材料,尤其是航空工程材料的应用,内容“实用”,便于学生在学习和工作时查阅;再次,该教材中还详细地介绍一些前缘的工程材料,如应用于航空、航天上的高温合金、碳素纤维、铝(纤维)蜂窝等航空工程材料,内容新颖。

2. 内容具有“易受性”,体现高职教育理念

内容深度上,该教材本着高职教育理念中的“理论够用”的原则,注重概念性知识、基本理论、工程实际应用等知识的讲解,深入浅出。以高职高专学生为对象,教材中引入了许多典型的工程应用实例,并插入丰富的图片,使学生对教材中的内容易于接受。

3. 具有“通识性”,适用于航空材料与工程各专业

结合近几年市场调研和企业信息反馈,对材料课程从授课内容上进行大力度的改革,内容全面,各专业可以根据需要选择教学内容。通过扩大学生的知识面,使学生对各专业具有一定的转型能力,从而很好地应对市场对人才需求的不断变化,促进就业质量和就业率。

本书由西安航空职业技术学院老师编写完成,张琳、王仙萌担任主编。具体编写分工如下:第1、4、5、6、10、11章由张琳编写;第7、8、13章由王仙萌编写;第9章由惠媛媛编写;第2、3章由苗高蕾编写;第12章由牛芳芳编写;第14章由李艳编写。全书由张琳负责统稿,由马康民和党杰负责主审。

由于编者水平和经验有限,书中的缺点和错误在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

第1章 绪论	1
1.1 材料科学与社会发展	1
1.2 工程材料及其类别	3
1.3 本课程的性质及任务	4
复习思考题	4
第2章 材料的性能	5
2.1 材料的物理化学性能	5
2.1.1 材料的物理性能	5
2.1.2 材料的化学性能	7
2.2 材料的力学性能	7
2.2.1 强度	8
2.2.2 塑性	10
2.2.3 硬度	11
2.2.4 韧性	14
2.2.5 疲劳强度	16
2.2.6 其他力学性能	17
2.3 材料的工艺性能	19
2.3.1 材料的铸造性能	19
2.3.2 材料的锻压性能	19
2.3.3 材料的焊接性能	20
2.3.4 材料的热处理性能	20
2.3.5 材料的切削加工性能	20
复习思考题	21
第3章 材料的微观结构	23
3.1 晶体与非晶体	23
3.1.1 晶体与非晶体的区别	23
3.1.2 晶体结构的基本概念	23
3.2 纯金属的晶体结构	25
3.2.1 常见的晶格类型	25
3.2.2 金属的实际晶体结构	26
3.3 合金的晶体结构	28
3.3.1 合金的基本概念	28

3.3.2 合金的相结构	28
复习思考题	30
第4章 材料的凝固	32
4.1 金属的凝固	32
4.1.1 纯金属的结晶	32
4.1.2 合金的结晶	35
4.1.3 合金结晶的工程应用	45
4.2 非金属的凝固	48
4.2.1 陶瓷的凝固	48
4.2.2 聚合物的凝固	49
复习思考题	49
第5章 铁碳合金	51
5.1 纯铁的同素异构转变	51
5.1.1 工业纯铁及其特性	51
5.1.2 纯铁的同素异构转变的意义	52
5.2 铁碳合金相图	52
5.2.1 铁碳合金的基本组织	52
5.2.2 铁碳合金相图分析	55
5.2.3 典型铁碳合金结晶过程分析	56
5.2.4 含碳量对铁碳合金平衡组织和性能的影响	63
5.2.5 铁碳合金相图在工程实际中的应用	65
复习思考题	66
第6章 金属塑性变形与再结晶	68
6.1 金属塑性变形的实质及方式	68
6.1.1 金属变形的概述	68
6.1.2 金属塑性变形的实质及方式	69
6.2 金属的冷塑性变形	74
6.2.1 冷塑性变形对金属组织和性能的影响	74
6.2.2 冷塑性变形后的金属加热时组织和性能的变化	77
6.2.3 金属冷塑性变形的工程应用	80
6.3 金属的热塑性变形	83
6.3.1 热塑性变形对金属组织和性能的影响	83
6.3.2 金属热塑性变形的工程应用	87
复习思考题	89
第7章 热处理原理及工艺方法	91
7.1 钢在加热时的组织转变	91
7.1.1 奥氏体的形成	92
7.1.2 奥氏体晶粒的长大及其影响因素	94
7.2 钢在冷却时的组织转变	95

7.2.1	过冷奥氏体的等温冷却转变	96
7.2.2	过冷奥氏体的连续冷却转变	101
7.3	钢的退火与正火	102
7.3.1	钢的退火	102
7.3.2	钢的正火	104
7.4	钢的淬火	105
7.4.1	淬火原理及方法	105
7.4.2	钢的淬透性与淬硬性	107
7.5	淬火钢的回火	109
7.5.1	回火原理及方法	109
7.5.2	回火的种类及应用	112
7.5.3	钢的回火稳定性及回火脆性	112
7.6	钢的表面热处理	113
7.6.1	钢的表面淬火	114
7.6.2	钢的化学热处理	115
7.7	热处理新技术	119
	复习思考题	122
第8章	碳钢与合金钢	123
8.1	钢的分类	123
8.2	碳钢	125
8.2.1	杂质元素在钢中的作用	125
8.2.2	碳素结构钢	126
8.2.3	碳素工具钢	127
8.2.4	铸钢	128
8.3	合金钢	129
8.3.1	合金元素在钢中的作用	130
8.3.2	合金结构钢	134
8.3.3	合金工具钢	148
8.3.4	特殊性能钢	159
	复习思考题	164
第9章	铸铁	166
9.1	概述	166
9.1.1	铸铁的特点	166
9.1.2	铸铁的分类	167
9.1.3	石墨及铸铁的石墨化	167
9.1.4	影响铸铁石墨化的因素	171
9.2	普通灰口铸铁	171
9.2.1	灰口铸铁的成分、组织和性能	171
9.2.2	灰口铸铁的孕育处理	173

9.2.3	灰口铸铁的牌号及应用	173
9.2.4	灰口铸铁的热处理	174
9.3	球墨铸铁	175
9.3.1	球墨铸铁的成分、组织与性能特点	175
9.3.2	球墨铸铁的球化处理	176
9.3.3	球墨铸铁的牌号及应用	176
9.3.4	球墨铸铁的热处理	177
9.4	可锻铸铁	179
9.4.1	可锻铸铁的成分、组织与性能特点	179
9.4.2	可锻铸铁的生产过程	180
9.4.3	可锻铸铁的牌号及应用	180
9.5	蠕墨铸铁	181
9.5.1	蠕墨铸铁的组织与性能	181
9.5.2	蠕墨铸铁的蠕化处理	182
9.5.3	蠕墨铸铁的牌号及应用	182
9.6	合金铸铁	183
	复习思考题	184
第10章	有色金属材料	187
10.1	铝及铝合金	187
10.1.1	纯铝	187
10.1.2	铝合金及其强化	189
10.1.3	铝合金的分类、牌号及应用	194
10.2	镁及镁合金	198
10.2.1	纯镁	198
10.2.2	镁合金的分类、牌号及应用	199
10.2.3	镁合金的热处理	202
10.3	钛及钛合金	204
10.3.1	纯钛	204
10.3.2	钛合金的分类、牌号及应用	204
10.3.3	钛合金的热处理	208
10.4	铜及铜合金	209
10.4.1	纯铜	209
10.4.2	铜合金的分类、牌号及应用	209
	复习思考题	215
第11章	高温合金	217
11.1	高温合金概述	218
11.1.1	高温合金的分类	219
11.1.2	高温合金的发展	220
11.2	高温合金的制备工艺	224

11.2.1	高温合金的熔炼	224
11.2.2	高温合金的重熔	228
11.2.3	高温合金的加工	231
11.3	高温合金的性能要求及提高措施	231
11.3.1	热稳定性及提高措施	231
11.3.2	热强性及其提高措施	233
11.4	高温合金的牌号及应用	239
11.4.1	高温合金的牌号	239
11.4.2	高温合金的应用	241
11.5	高温合金的未来	247
	复习思考题	249
第 12 章	非金属材料	250
12.1	陶瓷	250
12.1.1	陶瓷的分类及性能	250
12.1.2	传统陶瓷	251
12.1.3	高温结构陶瓷	251
12.2	高分子材料	257
12.2.1	工程塑料	257
12.2.2	透明材料	264
12.2.3	胶黏剂	265
12.2.4	航空涂料	268
12.3	复合材料	269
12.3.1	复合材料概述	269
12.3.2	常用复合材料的性能及应用	271
12.3.3	复合材料的成型方法	276
	复习思考题	278
第 13 章	模具用特殊材料	280
13.1	模具用特殊合金	280
13.1.1	低熔点合金	280
13.1.2	硬质合金	284
13.2	模具用非金属材料	285
13.2.1	环氧树脂	285
13.2.2	聚氨酯橡胶	287
	复习思考题	289
第 14 章	零件的选材	290
14.1	零件选材的一般原则和方法	290
14.1.1	零件选材的一般原则	290
14.1.2	零件选材的一般方法	292
14.2	典型零件的选材	292

14.2.1	锻件的选材	292
14.2.2	铸件的选材	293
14.2.3	焊接件的选材	294
14.2.4	塑料件的选材	296
14.2.5	复材件的选材	298
复习思考题		301
参考文献		302

第 1 章 绪 论

本章提要

- (1) 材料科学与社会发展的联系。
- (2) 工程材料的分类。
- (3) 本课程的性质及任务。

1.1 材料科学与社会发展

1. 材料与人类社会

材料是人类用于制造物品、器件、构件、机器或其他产品的物质。它不仅是人类赖以生存和发展的重要物质基础,而且是人类进化的里程碑。

材料科学的发展与人类社会的发展息息相关。材料的发展水平和利用程度已成为人类文明进步的标志。每一种新材料的出现和应用,都会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。历史学家依据制造生产工具的材料,将人类文明的历史划分为旧石器时代、新石器时代、青铜器时代、铁器时代、新材料时代。

(1) 旧石器时代(250 万年前)。原始人类,如 200 万年前的重庆巫山人和 170 万年前的云南元谋人已经知道选择质地较硬的石英岩打制石器,在其后漫长岁月中,石器一直是人们进行生产的主要工具,这个时代称为旧石器时代。

(2) 新石器时代(1 万年前)。原始社会末期,人类发现可塑性好的黏土加热会变硬,开始用火烧制陶器。陶器不但被人们用于器皿,而且成为装饰品,这标志着人类利用天然材料经过技术加工改造为人工材料。

(3) 青铜器时代(4000 年前)。在烧制陶器过程中,人们偶然发现了金属铜和锡。那时人类还不明白,这是铜、锡的氧化物在高温下被碳还原的产物。之后人类生产出了既色泽鲜艳又能浇铸成型的青铜(铜锡合金),这是人类历史上发明的第一种合金,它的出现标志着人类逐步进入了青铜器时代,同时也标志着人类进入了文明社会。奴隶社会,青铜冶炼技术得到很大发展。我国的青铜冶炼始于公元前 2000 年(夏代早期),晚商和西周达到鼎盛时期,典型作品有河南安阳出土的重达 875kg 的商代后母戊鼎、总质量超过 1 万 kg 的气势恢宏的湖北随县的编钟、西安青铜车马等青铜器和春秋晚期越国青铜兵器越王勾践剑等,这些都充分反映了当时中国冶金技术和制造工艺的高超水平。这是人类大量利用金属的开始,也是人类文明发展的重要里程碑。

(4) 铁器时代(1400 年前,春秋战国)。此后,人类发现了铁矿石并利用还原法生产铁原材料,开始用铁制造工具。因铁工具比青铜工具具有更多突出的优点而被更为广泛使用。生产工具由青铜器过渡到铁器,生铁冶铸技术的发明对社会进步起了巨大的推动

作用。

我国从春秋战国时期便开始大量使用铁器,用生铁退火而制成可锻铸铁及以生铁炼钢的发明,促进了生产力的大发展,对农业、水利和军事的发展起到很大作用。汉代“先炼铁后炼钢”技术居世界领先地位。新中国成立后,我国先后建起了鞍山、攀枝花、宝钢等大型钢铁基地。钢产量由 1949 年的 15.8 万 t 上升到现在的 1 亿 t。

(5) 新材料时代。随着人类文明的进步,18 世纪发明了蒸汽机,19 世纪发明了电动机,这对金属材料性能提出了更高要求,同时对钢铁冶金技术产生了更大推动作用。伴随着不同类型的特殊钢相继问世,如 1887 年高锰钢、1900 年 18-4-1(W18Cr4V)高速钢、1903 年硅钢、1910 年奥氏体镍铬(Cr18Ni8)不锈钢、镁合金、钛合金和很多稀有金属相继出现,金属材料在整个 20 世纪占据了结构材料的主导地位。

在先进科技的促进下,金属材料种类不断丰富的同时,一些非金属材料、复合材料也迅速发展起来,弥补了金属材料性能的不足。在机械制造业、航空、航天等各领域这些新材料的份额在逐渐增加。例如,具有良好的导电和耐高温性能的有机合成材料、新型陶瓷材料和具备优异性能的复合材料的研究与应用越来越广泛。现代社会已逐渐步入金属、高分子、陶瓷和复合材料共存的时代。

2. 材料科学发展与现代文明的联系

(1) 人类利用热处理技术使材料的性能潜能得到了充分的发挥。热处理技术具有悠久的历史,它是人类探索自然和智慧的结晶。早在公元前 770 年至 222 年,我们的祖先就已发现,铜铁的性能会因温度和加压变形的影响而变化。用生铁退火制成可锻铸铁用于制造农具就是热处理的应用。我国河北省易县燕下都出土的两把剑,其显微组织中存在马氏体,这也说明了淬火工艺早有应用。还有西汉中山靖王墓中出土的宝剑,心部含碳量为 0.15%~0.4%,而表面的含碳量却达到了 0.6%以上,说明古人早已掌握了渗碳工艺。明朝科学家宋应星在《天工开物》一书中就记载了古代的渗碳热处理等工艺。这说明早在欧洲工业革命之前,我国在金属材料及热处理方面就已经有了较高的成就,对世界文明和人类进步作出过巨大贡献。在人类的生产生活中,热处理技术发挥了极大的作用。它使已有材料的潜能得到发挥,使材料的应用范围不断拓宽。随着社会的进步,热处理技术不断改进和更新,出现了许多新型的热处理技术,如低压渗碳、表面改性技术、真空热处理和高压气淬等。并且利用计算机控制技术,使得热处理过程实现了自动化和精准控制,这些新技术也将在人类利用材料的过程中充分发挥作用。

(2) 人类文明对新材料的出现和发展也起到了巨大的促进作用。1863 年第一台光学显微镜的出现,促进了金相学的研究,使人们步入了材料的微观世界,从而将材料的宏观性能与微观组织联系起来;1912 年发现了 X 射线对晶体的作用并在随后被用于晶体衍射分析,使人们对固体材料微观结构的认识从最初的假想到科学的现实;1932 年电子显微镜等仪器出现,把人们带到了微观世界的更深层次(10^{-7} m);同时,与材料有关的基础学科(如固体物理、量子力学、化学等)等的发展以及金属学的日趋完善,大大推动了金属材料的发展。1934 年位错理论的提出,解决了晶体理论计算强度与实验测得的实际强度之间存在的巨大差别的矛盾,对于人们认识材料的力学性能及设计高强度材料具有划时代的意义。

(3) 人类科技的不断进步和材料科学发展相辅相成。新材料的不断出现又进一步促

进了人类科技文明的进步。信息、能源和材料被称为现代技术的三大支柱。信息时代是建立在材料的基础上的。再生能源、核能、燃料电池等能源技术也以材料为支撑。例如,硅半导体的出现,促进了晶体管和集成电路的发展,没有半导体材料的工业化生产,就不可能有目前的计算机技术;磁性材料的发展,促进了信息储存,从而使计算机的存储容量和计算速度大大提高;激光材料和光导纤维的发展,更是提高了信息传输和信息网络的发展。

从 20 世纪中期至今,人工合成有机材料、陶瓷材料及先进复合材料迅速发展,推动了航天、航空、汽车等技术发展,以至有人将这个时代称为精密陶瓷时代、电子材料时代、复合材料时代、塑料时代或合成材料时代等。不管叫什么名称,都反映了新材料与科技进步和社会发展之间密切的关系。

3. 现代材料学已成为专门学科服务于人类社会生产

苏联在 1957 年把第一颗人造卫星送入太空,令美国人震惊不已,认识到在导弹火箭技术上的落后。在其后的十年里,美国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。世界范围内也逐渐认识到了材料科学的重要性,材料科学逐渐形成强大的学科体系,它是以材料为研究对象的一门科学。现代材料学是以金属学、高分子材料、陶瓷材料等为基础,研究所有固体材料的成分、组织和性能之间关系的一门科学。现代材料科学的不断发展,必将成为人类社会发展的强大助推器,使人类社会走向更高层次的文明。

1.2 工程材料及其类别

材料按性能特点和使用范围分为结构材料和功能材料。功能材料是以物理、化学性能或者生物性能为主要使用性能,用于制造有特殊功能元器件的材料。结构材料是以力学性能为主要使用性能,用于制造工程结构和机器零件的材料,即工程材料。主要包括机械、船舶、化工、建筑、车辆、仪表、航空、航天等工程领域中用于制造工程构件和机械零件的材料。工程材料按化学组成可以分为金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类。

(1) 金属材料是最重要的工程材料,用量最大、应用最广泛。它主要包括黑色金属(钢、铸铁)和有色金属(铝合金、镁合金、钛合金等)。由于金属材料具有良好的物理化学性能、力学性能和工艺性能,能通过比较简单和经济的工艺方法制成零件,因而被广泛应用于农业机械、机床设备、电子通信设备、化工和纺织机械以及航空、航天等各领域。世界钢铁材料年产量已达 10 亿 t,用量已占有所有金属用量的 60% 以上。有色金属的质量小,被大量用于航空、航天制造业中。其中铝合金的用量最大,如波音 767 飞机的用材,铝合金用量占 81% 左右。

(2) 非金属材料泛指除金属材料和复合材料以外的材料,包括无机非金属材料和高分子材料。无机非金属材料主要是陶瓷材料、水泥、玻璃和耐火材料。它具有不可燃性、高耐热性、高化学稳定性、较高的硬度和良好的耐压性,且原料丰富,受到材料工作者和特殊行业的广泛关注。高分子材料包括塑料、橡胶和合成纤维等,因具有金属材料所不具备的特性,且原料丰富、成本低和加工方便而被广泛使用。

(3) 复合材料是把两种或两种以上不同性质或不同结构的材料以微观或宏观的形式

组合在一起而形成的材料。它既保持所组成材料的各自特性,又具有组成后的新特性,在强度、刚度和耐蚀性等方面比单一金属都优越,且它的力学性能和功能可以根据使用需要进行设计和制造。自1940年玻璃纤维增强塑料(玻璃钢)问世以来,复合材料的品种、数量和质量都有了飞速发展,应用领域在迅速扩大。20世纪60年代碳纤维增强树脂复合材料的出现加速了航空、航天技术的发展。先进的复合材料已成功应用到飞机的机翼、前机身、方向舵、减速板、进气道侧壁等重要部位,大大提高了飞机的性能。复合材料逐渐在材料大家庭中扮演起重要的角色。

随着经济的飞速发展和科学技术的进步,对材料的要求越来越高,工程材料将向高比强、高刚度、高韧性、耐高温、耐腐蚀、抗辐照和多功能的方向发展。

1.3 本课程的性质及任务

本课程是高职和高专材料类和机械类专业必修的一门技术基础课,其主要目的是使学生获得有关金属学、热处理工艺及常用工程材料的基本理论知识,为学习后续专业课程和将来从事生产技术工作打下良好的基础。学生在学习完本课程后应达到下列基本要求。

- (1) 掌握常用工程材料的成分、组织、性能、热处理工艺之间的关系。
- (2) 熟悉常用的金属材料、非金属材料 and 复合材料的基本特性及用途;在了解材料性能和设计之间关系的基础上,可根据零件的工作条件和失效形式,正确设计和合理选材。
- (3) 掌握材料各种强化方法(固溶强化、细晶强化、变形强化、时效强化和热处理强化等)及其基本原理。
- (4) 具有正确选择零件热处理工艺方法及确定热处理工序位置的能力。
- (5) 能够根据结构、工艺、外界条件(温度、环境介质)改变对材料性能的影响,正确制定零件的冷、热加工工艺路线。
- (6) 了解与本课程相关的新材料、新技术、新工艺及其发展概况。

该课程是一门理论和实践紧密结合的课程,因此要求学生既要掌握材料最基本的理论知识,又要具备一定的实践技能。并且理论知识需要在后续的专业基础课、专业课、课程设计及专业实训等过程中反复实践,融会贯通,巩固提高。

复习思考题

1-1 填空题

1. 材料按性能特点和使用范围可以分为_____和_____。
2. 常用的工程材料按化学成分可以分为_____、_____、_____三大类。

1-2 问答题

热处理技术对工程材料有何作用?

第2章 材料的性能

本章提要

(1) 材料的物理化学性能:密度、熔点、导热性、导电性等。

(2) 材料的力学性能:强度、塑性、硬度、韧性、疲劳强度及蠕变强度等。

(3) 材料的工艺性能:铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理性能及切削加工性能。

材料的性能包括使用性能和工艺性能。使用性能是指金属材料为保证机械零件或工具正常使用应具有的性能,即在使用过程中所表现出来的特性,主要包括物理性能、化学性能、力学性能等。工艺性能是指材料在被加工过程中适应各种冷热加工的性能,如热处理性能、铸造性能、锻压性能、焊接性能及切削加工性能等。

2.1 材料的物理化学性能

2.1.1 材料的物理性能

材料的物理性能通常包括密度、熔点、导热性、导电性、热膨胀性和磁性。

1. 密度

密度是指单位体积的质量。密度是材料的特性之一。不同材料的密度是不同的,并且材料的密度直接关系到由它所制造设备的自重和效能。例如,发动机中要求质轻和惯性小的活塞部分,常用密度小的铝合金制造。在航空、航天领域中,密度更是选择材料的关键性能指标之一。

常见金属材料的密度,一般密度小于 $4.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 的称为轻金属,密度大于 $4.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 的称为重金属。

对于同样强度和载荷要求,密度越小,构件质量越小。对于强度不同的材料,比强度是一个重要指标。抗拉强度 σ_b 与密度 ρ 之比称为比强度,比强度越大的材料,对于同样载荷所使用的材料质量越小。此外,弹性模量 E 与密度 ρ 之比称为比弹性模量。

2. 熔点

材料从固态向液态转变时的温度称为熔点。纯金属都有固定的熔点。

合金的熔点取决于它的化学成分,如:钢和铸铁虽然都是铁碳合金,但是由于其中含碳量不同,所以熔点也不同。熔点是金属和合金在冶炼、铸造、焊接时重要的工艺参数。熔点高的金属称为难熔金属(如钨、钼、钒等),可以用来制造耐高温零件,它们在火箭、导弹、燃气轮机和喷气飞机等方面得到广泛应用。熔点低的金属称为易熔金属(如锡、铅等),用来制造印刷铅字(铅和锑合金)、熔丝(铅、锡、铋、镉的合金)和防火安全阀等零件。

3. 导热性

金属传导热量的能力称为导热性。金属导热能力的大小常用热导率(亦称为导热系

数) λ (单位为 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$)表示。金属材料的热导率越大,说明其导热性越好。一般来说,金属越纯,其导热能力越强。合金的导热能力比纯金属差。金属的导热能力以银最好,铜、铝次之。

导热性好的金属其散热性也好,如在制造散热器、热交换器与活塞等零件的时候就要注意选用导热性好的金属。在制定焊接、铸造、锻造和热处理工艺时,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,以免金属材料发生变形和开裂。

4. 导电性

材料导电性能和与之相反的绝缘性能,是某些零件的特殊要求。金属及合金一般有良好的导电性。银的导电性最好,铜、铝次之,但铝的比电导率比铜高。高分子材料都是绝缘体,陶瓷材料更是良好的绝缘体。但有的高分子材料也有良好的导电性,某些特殊成分的陶瓷是半导体。

金属能够传导电流的能力,称为导电性。金属导电性的好坏,常用电阻率 ρ 表示。取长 1m 、截面积 1mm^2 的物体,在一定温度下所具有的电阻数值叫做电阻率(单位 $\Omega \cdot \text{m}$)。

电阻率越小,导电性就越好。

导电性跟导热性一样,随合金化学成分的复杂化而减弱。因而纯金属的导电性总比合金好。因此,工业上常用纯铜、纯铝做导电材料,而用导电性差的铜合金(康铜)和铁铬合金做电热元件。

5. 热膨胀性

金属材料随着温度变化而膨胀、收缩的特性称为热膨胀性。一般来说,金属受热时膨胀而体积增大,冷却时收缩而体积缩小。热膨胀性的大小用线膨胀系数 α_l 和体膨胀系数 α_v 来表示。体膨胀系数近似为线膨胀系数的3倍。

在实际工作中考虑热膨胀性的地方颇多。例如,铺设钢轨时,在两根钢轨衔接处应留有一定的空隙,以便留给钢轨在长度方向有膨胀余地;轴与轴瓦之间要根据膨胀系数来控制间隙尺寸;在制定焊接、热处理、铸造等工艺时也必须考虑材料的热膨胀影响,做到减少工件的变形与开裂;测量工件的尺寸时也要注意热膨胀因素,做到减少测量误差。

一般地,陶瓷热膨胀系数最低,金属次之,高分子材料最高。

6. 磁性

金属材料在磁场中被磁化而呈现磁性的强弱能力称为磁性。通常用磁导率 μ (H/m)来表示。根据金属材料在磁场中受到磁化强度的不同,金属材料可以分为如下几种。

- (1) 铁磁性材料——在外加磁场中,能强烈地被磁化到很大程度,如铁、镍、钴等。
- (2) 顺磁性材料——在外加磁场中,呈现十分微弱的磁性,如锰、铬、钼等。
- (3) 抗磁性材料——能够抗拒或减弱外加磁场磁化作用的金属,如铜、金、银、铅、锌等。

在铁磁性材料中,铁及其合金(包括钢与铸铁)有明显磁性。镍与钴也具有磁性,但远不如铁。铁磁性材料可用于制造变压器、电动机、测量仪表等,抗磁性材料则可用作要求避免电磁场干扰的零件和结构材料。

常见金属材料物理性能见表2-1。