

高职高专机电类专业规划教材

工程材料基础

张文灼 赵振学◎主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



赠电子课件、电子教案等

高职高专机电类专业规划教材

工 程 材 料 基 础

主 编	张文灼	赵振学			
副主编	赵宇辉	孙宏强	丁 倩		
参 编	杨宜宁	李 宾	吴国华	李海涛	
	马 军	李秀娜	赵 玉	白玉伟	
	刘战涛				
主 审	续永刚				



机械工业出版社

本书分 10 章,系统地介绍了工程材料及其性能、金属学基础知识、铁碳合金及碳素钢、钢的热处理、合金钢及硬质合金、铸铁、有色金属及其合金、非金属材料及新型材料、机械零件材料的选择、零件毛坯成形概论,书末还附有 4 个简明实验。

本书是作者在总结多年教学实践经验并结合国家高职高专教育教学改革、示范院校建设基础上编写的,体现了“必需、够用和少而精”的原则,删减理论、整合内容、突出基本应用。主要特色为:(1)专门针对高职高专学生特点,做到教师“好教”、学生“易学”,叙述精炼、深入浅出,在内容编排上极大降低了理论难度,理论浅显化、知识条理化,突出常见工程材料的基本性能及其典型应用;(2)每章以贴近社会生活或工程应用的浅显易懂、有趣而又典型的“引导案例”为切入点,提出疑问,引出相关内容,并在章末给出“案例释疑”,提高了“教师教”与“学生学”的积极性和趣味性;(3)每章都有学习重点及难点、本章小结,还备有简明典型的思考与练习题;(4)全书所有重点名词均为黑体,便于阅读、讲授。

本书可作为高职高专院校数控、机电、模具、机械制造与自动化以及其他近机械类相关专业的教材,也可作为应用型本科院校、中职院校、成教学院相关专业的教材,还可作为相关专业上岗人员的技术培训教材以及相关工程技术人员参考用书。

为方便教学,本书备有电子课件、电子教案(word)、课后思考与练习的参考答案等,凡选用本书作为授课教材的学校,均可来电索取,咨询电话:010-88379375, E-mail: cmpgaozhi@sina.com。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料基础/张文灼,赵振学主编. —北京:机械工业出版社,2010.1

高职高专机电类专业规划教材

ISBN 978-7-111-29512-9

I. 工… II. ①张…②赵… III. 工程材料-高等学校:技术学校-教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 003087 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:王宗锋 责任编辑:王宗锋 版式设计:霍永明

封面设计:陈沛 责任校对:李婷 责任印制:李妍

北京振兴源印务有限公司印刷

2010 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·12.5 印张·304 千字

0001-4000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-29512-9

定价:24.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

目前,很多机械工程材料相关教材,多以理论为主,内容繁杂、抽象,学生普遍感到难学,教师感到难教。就现今的高职人才培养定位来看,在制造业一线应用中极少直接用到诸如“工程材料的成分”、“组织结构”、“合金相图”等一些过深的纯理论性的内容,而当前的很多教材恰恰对这些“纯理论内容”大篇幅地加以叙述,给讲授、学习均带来不便,“浪费”了课时。

本书是作者在总结多年教学实践经验并结合国家高职高专教育教学改革、示范院校建设基础上编写的,体现了“必需、够用和少而精”的原则,删减理论、整合内容、突出基本应用,设计方式和内容选择注重激发学生的好奇心和求知欲,可使其在愉悦的学习过程中逐步拓宽视野。

本书主要特色为:(1)专门针对高职高专学生特点,做到教师“好教”、学生“易学”,叙述精炼、深入浅出,内容编排上极大降低了理论难度,理论浅显化、知识条理化,突出常见工程材料的基本性能及其典型应用;(2)每章以贴近社会生活或工程应用的浅显易懂、有趣而又典型的“引导案例”为切入点,提出疑问,引出相关内容,并在章末给出“案例释疑”,提高了“教师教”与“学生学”的积极性和趣味性;(3)每章都有学习重点及难点、本章小结,还备有简明典型的思考与练习题;(4)全书所有重点名词均为黑体,便于阅读、讲授。

本书由河北工业职业技术学院张文灼、赵振学任主编;河北工业职业技术学院赵宇辉、石家庄学院孙宏强、石家庄科技信息职业学院丁倩任副主编。参加编写的还有:山西工程职业技术学院杨宜宁,石家庄信息工程职业学院李宾、吴国华,潍坊职业学院李海涛,河北工业职业技术学院马军、李秀娜、赵玉、白玉伟,石家庄科技信息职业学院刘战涛。张文灼、赵振学负责对全书编写思路与大纲的总体策划,对全书统一修改并定稿。

石家庄职业技术学院副教授续永刚任主审,他对全书进行了认真细致的审阅,并提出了许多宝贵意见和建议,石家庄市职教中心韩开生也为本书提出了不少建议,在此谨表谢意。

由于高职高专教育教学改革在不断探索和深化中,加之编者视野范围和专业水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,敬请广大同行和读者批评指正,也请各位专家学者不吝赐教,以便下次修订时改进,所有建议和意见敬请发至 JXGCCL@126.COM,我们将不胜感激。

编 者

目 录

前言

第1章 工程材料及其性能 1

学习重点及难点 1

引导案例 1

1.1 工程材料概述 1

1.1.1 材料的发展 1

1.1.2 工程材料的分类 2

1.2 金属材料的常用力学性能 2

1.2.1 金属材料所受载荷与常用力学性能 2

1.2.2 强度 3

1.2.3 塑性 4

1.2.4 硬度 5

1.2.5 冲击韧度 7

1.2.6 疲劳强度 8

1.3 金属材料的物理性能和化学性能 9

1.3.1 物理性能 9

1.3.2 化学性能 9

1.4 金属材料的工艺性能 9

案例释疑 10

本章小结 11

思考与练习 11

第2章 金属学基础知识 12

学习重点及难点 12

引导案例 12

2.1 纯金属的晶体结构 12

2.1.1 晶体与非晶体 12

2.1.2 晶体结构 12

2.1.3 金属晶格的类型 13

2.1.4 实际金属的晶体结构 14

2.1.5 实际金属的晶体缺陷 14

2.2 金属的结晶 16

2.2.1 纯金属的冷却曲线与过冷度 16

2.2.2 纯金属的结晶过程 17

2.2.3 合金铸件（或铸锭）结晶后的组织结构 17

2.2.4 晶粒大小及其控制 18

2.3 合金的晶体结构 18

2.3.1 合金的基本概念 18

2.3.2 合金的相结构 19

2.4 金属的冷塑性变形 20

2.4.1 金属的塑性变形 21

2.4.2 冷塑性变形对金属组织和性能的影响 22

2.4.3 冷塑性变形后在加热时的回复与再结晶 23

2.5 金属的热塑性变形 24

2.5.1 热加工与冷加工的区别 24

2.5.2 热加工对金属组织和性能的影响 25

案例释疑 25

本章小结 26

思考与练习 26

第3章 铁碳合金及碳素钢 27

学习重点及难点 27

引导案例 27

3.1 铁碳合金及其相图 27

3.1.1 工业纯铁 27

3.1.2 铁碳合金的基本组织 28

3.1.3 铁碳合金相图 29

3.1.4 铁碳合金的分类 31

3.1.5 典型铁碳合金的结晶过程 31

3.1.6 含碳量对钢性能的影响 33

3.1.7 铁碳合金相图在工业中的应用 34

3.2 碳素钢概述 35

3.2.1 常存杂质元素对碳素钢性能的影响 35

3.2.2 碳素钢的分类 35

3.2.3 钢材的品种 36

3.3 碳素结构钢 37

3.3.1 普通碳素结构钢 37

3.3.2 优质碳素结构钢 37

3.4 碳素工具钢 40

3.5 铸造碳钢 41

案例释疑	42
本章小结	43
思考与练习	43
第4章 钢的热处理	44
学习重点及难点	44
引导案例	44
4.1 热处理概述	44
4.2 钢在加热时的转变	45
4.2.1 钢在加热和冷却时的固态临 界点	45
4.2.2 钢在加热时的组织转变过程	46
4.2.3 加热时奥氏体的晶粒大小及 控制	47
4.3 钢在冷却时的转变	47
4.3.1 过冷奥氏体的等温转变	48
4.3.2 过冷奥氏体的连续冷却转变	50
4.4 钢的退火和正火	50
4.4.1 钢的退火	50
4.4.2 钢的正火	52
4.4.3 退火与正火的应用选择	53
4.5 钢的淬火	53
4.5.1 钢的淬火工艺	54
4.5.2 淬火方法	55
4.5.3 钢的淬透性与淬硬性	56
4.5.4 钢的淬火缺陷及预防	57
4.6 淬火钢的回火	57
4.6.1 淬火钢回火的目的	58
4.6.2 常用的回火方法	58
4.6.3 回火脆性	58
4.7 钢的表面热处理	59
4.7.1 钢的表面淬火	59
4.7.2 钢的化学热处理	61
4.8 其他热处理技术	63
4.8.1 时效处理	63
4.8.2 形变热处理	63
4.8.3 真空热处理	64
4.8.4 可控气氛热处理	64
4.8.5 表面气相沉积	64
4.9 热处理方案选择及工艺位置安排	65
4.9.1 常用热处理方案的选择	66
4.9.2 热处理工艺位置安排	67
4.10 零件的热处理结构工艺性	67
案例释疑	69

本章小结	69
思考与练习	70
第5章 合金钢及硬质合金	71
学习重点及难点	71
引导案例	71
5.1 合金钢概述	71
5.2 合金钢的分类和牌号	72
5.2.1 合金钢的分类	72
5.2.2 合金钢的牌号	73
5.3 合金元素在钢中的作用	74
5.3.1 合金元素对钢力学性能的影响	74
5.3.2 合金元素对钢热处理性能的影响	75
5.3.3 合金元素对钢加工工艺性能的影响	75
5.4 合金结构钢	76
5.4.1 工程构件用合金钢	76
5.4.2 机械结构用合金钢	77
5.5 合金工具钢	81
5.5.1 合金刀具钢	81
5.5.2 合金模具钢	84
5.5.3 合金量具钢	87
5.6 特殊性能合金钢	88
5.6.1 不锈钢	88
5.6.2 耐热钢	89
5.6.3 耐磨钢	90
5.6.4 易切削结构钢	91
5.7 硬质合金	92
5.7.1 硬质合金的应用与特性	92
5.7.2 常用硬质合金	92
案例释疑	94
本章小结	94
思考与练习	95
第6章 铸铁	96
学习重点及难点	96
引导案例	96
6.1 铸铁概述	96
6.1.1 铸铁的成分及性能特点	97
6.1.2 铸铁的分类及应用	97
6.2 灰铸铁	98
6.2.1 灰铸铁的成分、组织与性能特点	98
6.2.2 灰铸铁的牌号和应用	99



6.2.3 灰铸铁的孕育处理	100	8.2.1 塑料	122
6.2.4 灰铸铁的热处理	100	8.2.2 橡胶	125
6.3 球墨铸铁	101	8.2.3 纤维	127
6.3.1 球墨铸铁的组织与性能	101	8.2.4 胶粘剂	128
6.3.2 球墨铸铁的牌号及用途	102	8.2.5 涂料	129
6.3.3 球墨铸铁的热处理	102	8.3 陶瓷材料	129
6.4 可锻铸铁	103	8.3.1 陶瓷的分类	129
6.4.1 可锻铸铁的生产过程及成分	103	8.3.2 陶瓷的性能特点	130
6.4.2 可锻铸铁的组织与性能	103	8.3.3 常用陶瓷的种类及应用	130
6.4.3 可锻铸铁的牌号及用途	104	8.4 复合材料	131
6.5 其他铸铁	105	8.4.1 复合材料的概念	131
6.5.1 蠕墨铸铁	105	8.4.2 复合材料的分类	132
6.5.2 特殊性能铸铁	106	8.4.3 复合材料的性能特点	132
案例释疑	106	8.4.4 常用复合材料	133
本章小结	107	8.5 新型材料	134
思考与练习	108	8.5.1 高温材料	134
第7章 有色金属及其合金	109	8.5.2 形状记忆材料	135
学习重点及难点	109	8.5.3 超导材料	136
引导案例	109	案例释疑	137
7.1 有色金属概述	109	本章小结	137
7.2 铜及铜合金	109	思考与练习	138
7.2.1 工业纯铜	109	第9章 机械零件材料的选择	139
7.2.2 铜合金	110	学习重点及难点	139
7.3 铝及铝合金	112	引导案例	139
7.3.1 工业纯铝	112	9.1 机械零件的失效	139
7.3.2 铝合金	113	9.1.1 失效的概念及特征	139
7.4 钛及钛合金	115	9.1.2 失效的类型	139
7.4.1 工业纯钛	115	9.1.3 失效的原因	140
7.4.2 钛合金	115	9.2 机械零件材料选择的一般原则	141
7.5 滑动轴承合金	116	9.2.1 使用性能的考虑	141
7.5.1 轴承及轴承合金的类别	116	9.2.2 工艺性能的考虑	141
7.5.2 铅基轴承合金	117	9.2.3 经济性的考虑	142
7.5.3 锡基轴承合金	118	9.3 典型零件选材实例	142
7.5.4 铝基轴承合金	118	9.3.1 轴类零件的选材及热处理	142
7.5.5 铜基轴承合金	119	9.3.2 齿轮类零件的选材与工艺 分析	144
案例释疑	120	9.3.3 箱体类零件的选材	146
本章小结	120	案例释疑	146
思考与练习	120	本章小结	146
第8章 非金属材料及新型材料	121	思考与练习	146
学习重点及难点	121	第10章 零件毛坯成形概论	147
引导案例	121	学习重点及难点	147
8.1 非金属材料概述	121	引导案例	147
8.2 高分子材料	121		

10.1 铸造成形基础	147	案例释疑	175
10.1.1 铸造概述	147	本章小结	175
10.1.2 砂型铸造	147	思考与练习	175
10.1.3 特种铸造简介	153	附录	177
10.2 焊接成形基础	157	附录 A 简明实验	177
10.2.1 焊接概述	157	实验 1 金属材料的拉伸实验	177
10.2.2 手工电弧焊	157	实验 2 金属材料硬度的测定	179
10.2.3 埋弧焊	160	实验 3 铁碳合金显微组织的观察及	
10.2.4 气体保护焊	161	分析	181
10.2.5 电阻焊	162	实验 4 碳素钢的热处理	183
10.2.6 钎焊	164	附录 B 压痕直径与布氏硬度对照表	185
10.3 锻压成形基础	166	附录 C 黑色金属硬度与强度换算表	188
10.3.1 锻压概述	166	附录 D 各类钢铁的牌号表示方法	188
10.3.2 自由锻	167	附录 E 常用热处理工艺代号及技术条件	
10.3.3 模锻	169	的表示方法	189
10.3.4 板料冲压	172	参考文献	190
10.3.5 锻压新技术简介	173		

第 1 章 工程材料及其性能

● 学习重点及难点

- ◇ 工程材料的概念及分类
- ◇ 金属材料的常用力学性能指标
- ◇ 金属材料的物理、化学及工艺性能

● 引导案例

许多机械零件，如高速旋转的传动轴，有时在正常工作状况、甚至空载时，会发生突然断裂；使用频繁的弹簧有时会突然发生脆断；汽车变速齿轮会产生崩齿现象；内燃机汽缸盖上的螺栓会断裂；另据报道，一辆货运卡车空车正常行驶，拖车挂钩突然断裂，失控的拖车与对面驶来的客车发生交通事故，而挂钩断口看起来却很新。这些破坏现象是因何发生？为何有时会在没有任何征兆的情况下突然破坏？

其实这些不可思议的零件破坏现象都可以用材料的相关力学性能指标轻松解释。

1.1 工程材料概述

材料是用来制作有用器件的物质，是人类生产和生活所必须的物质基础。从日常生活用的器具到高技术产品，从简单的手工工具到复杂的航天器、机器人，都是用各种材料制作而成或由其加工的零件组装而成的。材料的发展水平和利用程度已成为人类文明进步的重要标志。

1.1.1 材料的发展

1. 石器时代

早在公元前 6000 年 ~ 公元前 5000 年的新石器时代，中华民族先人就能用黏土烧制陶器，到东汉时期又出现瓷器，并流传海外。

2. 青铜器时代

在 4000 年前的夏朝，我们的祖先就已经能够炼铜，到殷、商时期，我国的青铜冶炼和铸造技术已经达到很高的水平。司母戊方鼎是中国商代后期王室祭祀用的青铜方鼎，1939 年 3 月 19 日在河南省安阳市武官村的农地中出土，因其腹部著有“司母戊”三字而得名，现藏于中国国家博物馆。司母戊方鼎器型高大厚重，又称司母戊大方鼎，高 133cm、口长 110cm、口宽 79cm、重 832.84kg，鼎腹长方形，上竖两只直耳，下有四根圆柱形鼎足，是中国目前已发现的最重的青铜器。

3. 铁器时代

人们从春秋战国时期开始大量使用铁器，东汉时传入欧洲，从西汉到明朝的 1500 多年间其技术均远远领先于欧洲。



4. 合成材料新时代

19 世纪发展起来的现代钢铁材料,推动了机器制造工业的飞速发展,为 20 世纪的物质文明建设奠定了基础。半个多世纪以来,合成高分子材料、新兴陶瓷材料、复合材料如雨后春笋般涌现出来,大大丰富了我们的生产和生活。每一种新材料的发现,每一项新材料技术的应用,都会给社会生产和人类的生活带来巨大改变,将人类文明推向前进。

1.1.2 工程材料的分类

工程材料是指在机械、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。工程材料分类如下:

- (1) 按化学组成成分 分为金属材料、有机高分子材料、陶瓷材料和复合材料。
- (2) 按使用性能分 分为结构材料和功能材料。
- (3) 按使用领域分 分为信息材料、能源材料、建筑材料、机械工程材料和生物材料。

金属材料是以金属元素或金属元素为主构成的具有金属特性的材料的统称。包括纯金属、合金、金属化合物和特种金属材料等。金属材料是现代机械制造业的基本材料,广泛地应用于工业生产和生活用品制造。

1.2 金属材料的常用力学性能

1.2.1 金属材料所受载荷与常用力学性能

1. 金属材料承受的载荷

金属材料在加工和使用过程中所受到的外力称为**载荷**。按外力的作用性质,常分为如下三种:

- (1) 静载荷 大小不变或变化很慢的载荷。如:桌上放置重量不变的箱子,桌子所受的力;机床的床头箱对机床床身的压力等。
- (2) 冲击载荷 突然增加或消失的载荷。如:在墙上钉钉子,钉子所受的力;空气锤锤头下落时锤杆所承受的载荷;冲压时冲床对冲模的冲击作用等。
- (3) 交变载荷 周期性的动载荷,如机床主轴就是在交变载荷的作用下工作的。

根据作用形式不同,载荷又可分为拉伸载荷、压缩载荷、弯曲载荷、剪切载荷和扭转载荷等,如图 1-1 所示。

2. 载荷下的变形

- (1) 弹性变形 随外力消除而消失的变形称为弹性变形。
- (2) 塑性变形 当外力去除时,不能恢复的变形称为塑性变形。

3. 常用力学性能指标

金属材料的**力学性能**是指材料在各种载荷作用下表现出来的抵抗变形和断裂的能力。常用的力学性能指标有:强度、塑性、硬度、冲击韧度及疲劳强度等,它们是衡量材料性能和决定材料应用范围的重要指标。

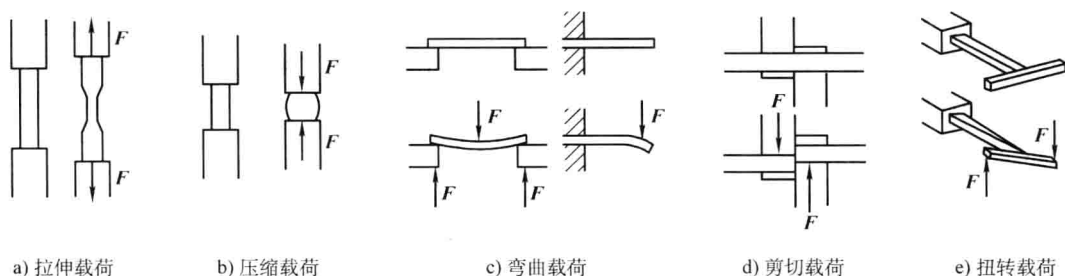


图 1-1 载荷的作用形式

1.2.2 强度

金属材料在载荷作用下抵抗塑性变形或断裂的能力称为**强度**。材料强度越高,可承受的载荷越大。不同金属材料的强度指标,可通过拉伸试验和其他力学性能试验方法测定。

1. 拉伸实验

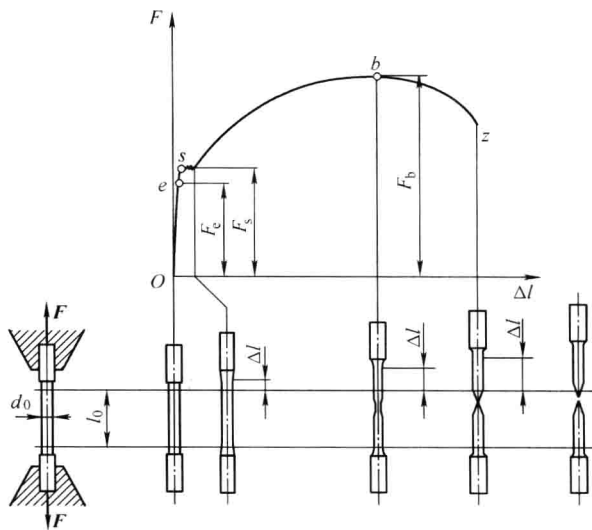
实验前,将被测试的金属材料制成标准试样,将标准试样装夹在拉伸试验机上,然后对其逐渐施加拉伸载荷 F ,同时连续测量力和试样相应的伸长,直至试样被拉断,可得到拉力 F 与伸长量 Δl 的关系曲线图,如图 1-2 所示,即 $F-\Delta l$ 拉伸曲线,纵坐标表示力 F ,单位为 N;横坐标表示绝对伸长量 Δl ,单位为 mm。 $F-\Delta l$ 曲线反映了金属材料在拉伸过程中从弹性变形到断裂的全部力学特性。

由图 1-2 可知,拉伸过程分为如下几个阶段:

(1) Oe ——弹性变形阶段 试样在外力作用下均匀伸长,伸长量与拉力大小保持正比关系, e 点所对应的应力 σ_e 称为弹性强度或弹性极限。

(2) es ——屈服阶段 试样所受的载荷大小超过 e 点后,材料除产生弹性变形外,开始出现塑性变形,拉力与伸长量之间不再保持正比关系,拉力达到图形中 s 点后,即使拉力不再增加,材料仍会伸长一定长度,即 s 点右侧的接近水平或锯齿状的线段。此现象称为“屈服”,标志着材料在此时丧失了抵抗塑性变形的能力,并产生微量的塑性变形。 s 点对应的应力 σ_s 称为屈服强度或屈服极限。

(3) sb ——塑性变形阶段 试样所受的载荷大小超过 s 点后,试样的变形随拉力的增大

图 1-2 $F-\Delta l$ 拉伸曲线



而逐渐增大, 试样发生均匀而明显的塑性变形。

(4) bz ——缩颈阶段 当试样所受的力达到 b 点后, 试样在标距长度内直径明显地出现局部变细, 即“缩颈”现象。由于截面积的减小, 变形集中在“缩颈”处, 试样保持持续拉长到断裂所需的拉力逐渐下降, 在 z 点试样断裂。

2. 强度指标

根据外力作用方式的不同, 强度有多种指标, 如抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度和抗扭强度等, 常用的强度指标有屈服强度和抗拉强度。

(1) 屈服强度 用符号 σ_s 表示, 指材料开始产生屈服现象时的最低应力, 又称**屈服极限**, 是机械设计的主要依据, 也是评定金属材料优劣的重要指标, 计算公式为

$$\sigma_s = F_s / S_0$$

式中, σ_s 是屈服强度 (MPa); F_s 是试样开始屈服时所受的外力 (N); S_0 是试样原始截面积 (mm^2)。

无明显屈服现象的材料, 用试样标距长度产生 0.2% 塑性变形时的应力值作为屈服强度, 用 $\sigma_{0.2}$ 表示, 称为**条件屈服强度**, 意义同 σ_s 。

(2) 抗拉强度 用符号 σ_b 表示, 指材料抵抗外力而不致断裂的最大应力值, 是机械零件评定和选材时的重要强度指标, 计算公式为

$$\sigma_b = F_b / S_0$$

式中, σ_b 是抗拉强度 (MPa); F_b 是试样在断裂前所受的最大外力 (N); S_0 是试样原始截面积 (mm^2)。

σ_s / σ_b 的值称为**屈强比**。屈强比越小, 工程构件的可靠性越高, 也就是万一超载也不致于马上断裂。但屈强比小, 材料强度有效利用率也低。

1.2.3 塑性

材料在外力作用下, 产生永久性不能自行恢复的变形而不破坏的性能称为塑性。塑性指标也是在拉伸实验中测定的, 常用的塑性指标是伸长率和断面收缩率。

1. 伸长率

伸长率是指试样拉断后标距长度的伸长量与标距原始长度之比值的百分率, 用符号 δ 表示, 计算公式为

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中, l_0 是试样原始长度 (mm); l_1 是试样拉断后的标距长度 (mm)。

2. 断面收缩率

断面收缩率是指试样拉断后缩颈处截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比, 用符号 ψ 表示。 ψ 不受试样尺寸的影响, 计算公式为

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\%$$

式中, S_0 是试样原始横截面积; S_1 是试样拉断后缩颈处截面积。

3. 塑性的工程意义

材料的 δ 和 ψ 值越大,表示塑性越好。塑性好的金属材料,如铜、铝、铁等,可以发生大量塑性变形而不被破坏,便于通过各种压力加工获得形状复杂的零件。工业纯铁的 δ 可达50%, ψ 可达80%,可以拉成细丝、压成薄板,进行深冲成形;铸铁的塑性很差, δ 和 ψ 几乎为零,不能进行塑性变形加工。塑性好的材料在受力过大时,由于首先产生塑性变形而不致发生突然断裂,所以较安全。

1.2.4 硬度

硬度通常是指金属材料抵抗更硬物体压入其表面的能力,是金属抵抗其表面局部变形和破坏的能力,简单说就是材料的软硬程度。

通常材料越硬,其耐磨性越好。机械制造业所用的刀具、量具、模具等,都应具备足够的硬度,才能保证使用性能和寿命。有些机械零件如齿轮、轴承等,也要求有一定的硬度,以保证足够的耐磨性和使用寿命。

目前常用的硬度测量方法是压入法,主要有布氏硬度试验、洛氏硬度试验和维氏硬度试验等,布氏硬度和洛氏硬度应用较为广泛。

1. 布氏硬度

(1) 原理与测定方法 布氏硬度试验原理如图 1-3 所示,用直径为 D 的硬质合金球作为压头,以规定的压力 F 压入被测试样表面,保持规定时间后去除外力,在试样表面留下球形压痕。依据球面压痕单位表面积(由尺寸 d 计算)上所承受的平均压力来测定布氏硬度值。布氏硬度常用符号 HBW 表示,可按下面公式计算:

$$HBW = 0.102F/S$$

式中, F 是试验的载荷力(N); S 是压痕面积(mm^2)。

注意:工程实际中,在试验后,硬度值不需按照数学公式计算,可用读数放大镜测出压痕直径 d ,然后根据压痕直径与布氏硬度对照表(见附录 B)查出相应的布氏硬度值即可。

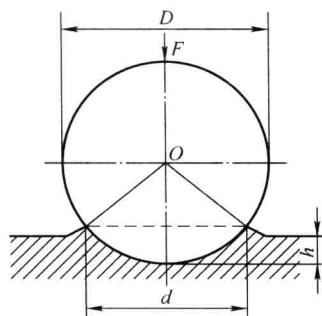


图 1-3 布氏硬度试验

(2) 特点 一般来说,布氏硬度值越小,材料越软,其压痕直径越大;反之,布氏硬度值越大,材料越硬,其压痕直径越小。布氏硬度测量的优点是具有较高的测量精度,压痕面积大,能在较大范围内反映材料的平均硬度,测得的硬度值也较准确,数据重复性强。

(3) 应用 布氏硬度测量法适用于铸铁、非铁合金、各种退火及调质的钢材,不宜测定太硬、太小、太薄和表面不允许有较大压痕的试样或工件。

(4) 试验规范 测定硬度值时,由于金属材料有硬有软,被测工件有厚有薄,有大有小,如果只采用一种标准的试验力 F 和压头直径 D ,就会对某些材料和工件产生不适应的现象,因此国家标准规定了常用布氏硬度试验规范,见表 1-1。

表 1-1 常用布氏硬度试验规范

金属类型	硬度范围 /HBW	试件厚度 /mm	载荷 F 与压头 直径 D 的关系	钢球直径 D /mm	载荷 F /kN	载荷保持时间/s
黑色 金属	140 ~ 450	6 ~ 2	$F = 30D^2$	10	29.42 (3000kgf)	10 ~ 15
		4 ~ 2		5.0	7.355 (750kgf)	
		<2		2.5	1.839 (187.50kgf)	
	< 140	>6	$F = 10D^2$	10.0	9.807 (1000kgf)	10 ~ 15
		6 ~ 3		5.0	2.452 (250kgf)	
		<3		2.5	0.613 (62.50kgf)	
有色 金属	> 130	6 ~ 3	$F = 30D^2$	10	29.42 (3000kgf)	30
		4 ~ 2		5.0	7.355 (750kgf)	
		<2		2.5	1.839 (187.50kgf)	
	36 ~ 130	9 ~ 3	$F = 10D^2$	10.0	9.807 (1000kgf)	30
		6 ~ 3		5.0	2.452 (250kgf)	
		<3		2.5	0.613 (62.50kgf)	
	8 ~ 35	>6	$F = 2.5D^2$	10.0	2.452 (250kgf)	30
		6 ~ 3		5.0	0.613 (62.50kgf)	
		<3		2.5	0.153 (15.60kgf)	

2. 洛氏硬度

(1) 原理与测定方法 洛氏硬度试验以钢球、硬质合金球或金刚石圆锥作为压头，先施加初载荷 F_0 使压头与试样表面良好接触，再施加主载荷 F ，保持规定时间后卸掉主载荷，依据由 F 压入试样表面留下的深度来测定材料的洛氏硬度值，用符号 HR 表示，采用 120° 的金刚石圆锥作为压头的试验原理如图 1-4 所示，图中 h_3 为卸掉主载荷，压痕回弹后留下的深度，由主载荷压入的深度为 $h_3 - h_1$ ，即 e 。

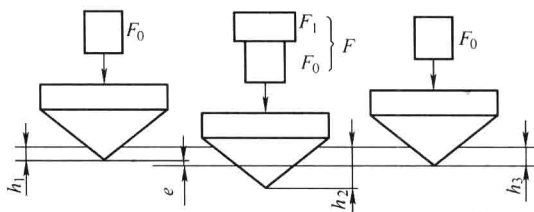


图 1-4 洛氏硬度试验

材料的压痕深度越浅，其洛氏硬度越高；反之，洛氏硬度越低。计算公式为

$$HR = \frac{K - e}{0.002}$$

式中， K 是常数，用金刚石圆锥作为压头时 K 取 0.2mm，用淬火钢球作为压头时 K 取 0.26mm； e 是卸掉主载荷后试样表面由主载荷形成的压痕深度（mm）。

注意：实际测定时硬度值的大小可直接由洛氏硬度计表盘上读出。

(2) 优缺点 洛氏硬度测定设备简单，操作迅速方便，可用来测定各种金属材料的硬度。测定时仅产生很小的压痕，并不损坏零件，因而适合于成品检验。但只测一点无代表性，不准确，需多点测量，然后取平均值。

(3) 试验条件及应用 根据压头的种类和总载荷的大小，洛氏硬度常用的表示方式有 HRA、HRB、HRC 三种，见表 1-2，其中以 HRC 应用最广，如洛氏硬度 62HRC，表示用金



刚石圆锥压头、总载荷为 1471N 时测得的洛氏硬度值。

表 1-2 常见洛氏硬度的试验条件及使用范围

硬度符号	压头	总载荷	表盘刻度颜色	硬度值范围	使用范围
HRA	金钢石圆锥	588.4N (60kgf)	黑色	70 ~ 85HRA	硬质合金、表面淬硬层、渗碳层等
HRB	φ1.588mm 钢球	980.7N (100kgf)	红色	25 ~ 100HRB	有色金属、退火及正火钢等
HRC	金钢石圆锥	1471N (150kgf)	黑色	20 ~ 67HRC	调质钢、淬火钢等

1.2.5 冲击韧度

机械零件如活塞销、锤杆、冲模和锻模等，除在静载荷下工作外，还经常承受具有更大破坏作用的冲击载荷。因此，这些部件不仅要满足静载荷作用下的强度、塑性、硬度等性能指标，还必须具备足够的韧性。**冲击韧度**是指金属材料抵抗冲击载荷而不破坏的能力。

1. 冲击试验

金属材料的冲击韧度是通过冲击试验来测定的，如图 1-5 所示。试验时将试样安放在试验机的机架上，使试样的缺口位于两支架中间，并背向摆锤的冲击方向。

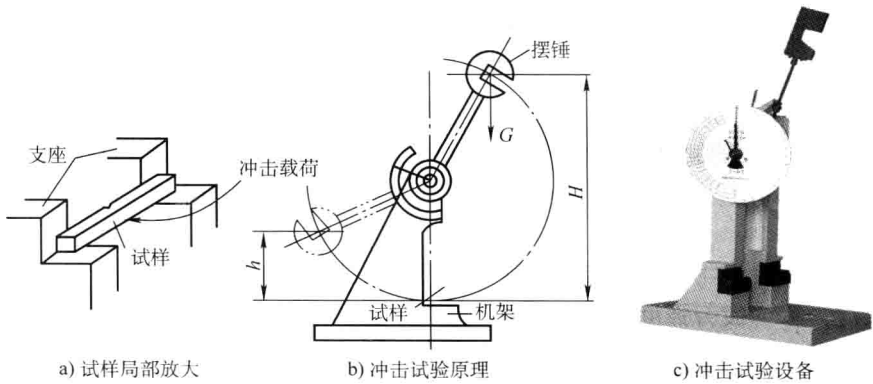


图 1-5 冲击试验

将摆锤 G 升高到规定高度 H ，使摆锤从 H 高度自由落下，冲断试样后向另一方向回升至高度 h ，摆锤将产生势能差 A_K ， A_K 是消耗在试样断口上的冲击吸收功， A_K 的数值计算在此省略。

2. 冲击韧度

冲击韧度用符号 a_K 表示，计算如下：

$$a_K = \frac{A_K}{S_0}$$

式中， a_K 是冲击韧度值 (J/cm^2)； A_K 是冲击吸收功 (J)； S_0 是试样缺口处的截面积 (cm^2)。

3. 工程意义

冲击吸收功主要消耗于裂纹出现至断裂的过程。冲击韧度值 a_K 的大小，反映出金属材



料韧性的好坏。 a_K 越大, 表示材料的韧性越好, 抵抗冲击载荷而不被破坏的能力越大, 即受冲击时不易断裂能力越大。所以, 在实际生产制造中, 对于长期在冲击作用力下工作的零件, 需要进行冲击韧度试验, 如冲床的曲柄、空气锤的锤杆、发动机的转子等。

冲击韧度值 a_K 一般只作为选材的参考, 并不直接用于强度计算。

注意: 实际生产中承受冲击载荷的机械零件, 很少因受到大能量的一次冲击而破坏, 大多都是受到小能量多次冲击后才失效破坏的。因此, 材料抵抗大能量一次冲击的能力取决于材料的塑性, 而抵抗小能量多次冲击的能力取决于材料的强度。所以, 在机械零件设计时, 不能片面地追求高的 a_K 值, a_K 过高必然要降低材料的强度, 从而导致零件在使用过程中因强度不足而过早失效。

1.2.6 疲劳强度

1. 疲劳破坏

许多机械零件, 如轴、齿轮、轴承、叶片、弹簧等, 在工作过程中各点的应力随时间作周期性的变化, 这种随时间作周期性变化的应力称为交变应力 (也称循环应力)。在交变应力作用下, 虽然零件所承受的应力低于材料的抗拉强度 σ_b 甚至低于材料的屈服强度 σ_s ($\sigma_{0.2}$), 但经过较长时间的工作后会产生裂纹或突然发生完全断裂, 这种现象称为金属的疲劳。

2. 疲劳破坏的特征

- 1) 疲劳断裂时并没有明显的宏观塑性变形, 断裂前没有预兆, 是突然破坏。
- 2) 引起疲劳断裂的应力很低, 常常低于材料的屈服强度 σ_s ($\sigma_{0.2}$)。

3) 疲劳破坏的宏观断口由两部分组成, 即疲劳裂纹的策源地及扩展区 (光亮部分) 和最后断裂区 (粗糙部分), 如图 1-6 所示。

3. 疲劳强度

金属材料在无限多次交变载荷作用下而不破坏的最大应力称为**疲劳强度**或**疲劳极限**。

实际上, 金属材料并不可能做无限多次交变载荷试验。一般试验时规定, 钢在经受 10^7 次、非铁 (有色) 金属材料经受 10^8 次交变载荷作用时不产生断裂时的最大应力称为疲劳强度。

据统计, 在机械零件失效中大约有 80% 以上属于疲劳破坏, 而且疲劳破坏前没有明显的变形, 疲劳破坏经常会造成重大事故, 所以对于轴、齿轮、轴承、叶片、弹簧等承受交变载荷的零件要选择疲劳强度较好的材料来制造。

4. 疲劳破坏的原因

机械零件之所以产生疲劳断裂, 是由于材料表面或内部有缺陷 (夹杂、划痕、显微裂纹等), 这些部位的局部应力大于屈服强度 σ_s ($\sigma_{0.2}$), 从而产生局部塑性变形而导致开裂。这些裂缝随应力循环次数的增加而逐渐扩展, 直至最后承载的截面减小到不能承受所加载荷而突然断裂。

5. 提高疲劳强度的措施

合理选材, 改善材料的结构形状, 避免应力集中, 减小材料和零件的缺陷; 提高零件表面光洁度; 对表面进行强化, 喷丸处理等。

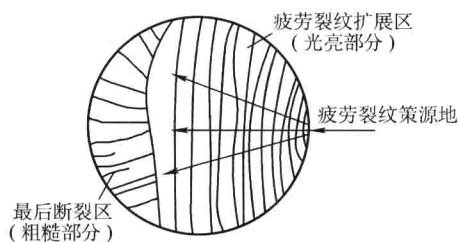


图 1-6 疲劳破坏宏观断口

1.3 金属材料的物理性能和化学性能

1.3.1 物理性能

金属材料在固态时所表现出来的一系列物理现象的性能称为**物理性能**。包括密度、熔点、导热性、导电性、热膨胀性和磁性等。

1. 密度

物质单位体积的质量称为该物质的**密度**，用符号 ρ 表示，单位为 kg/m^3 。

机械工程中通常用密度来计算材料或零件的质量（ $m = \rho V$ ）。体积相同的不同金属，金属密度越大质量也越大，密度越小质量也越小。

2. 熔点

金属从固态转变为液态时的最低熔化温度称为**熔点**。

3. 热膨胀性

金属材料在受热时体积增大、冷却时体积缩小，这种热胀冷缩的性能称为**热膨胀性**。利用材料的热膨胀性，可使过盈配合的两个零件紧固在一起或使原来紧配的两零件加热松弛而卸下；铺设铁轨时，两钢轨衔接处应留有一定的空隙，使钢轨在长度方向有伸缩的余量。

4. 导热性

金属材料传导热量的能力称为**导热性**，金属材料的热导率越大，说明导热性越好。

5. 导电性

金属材料传导电流的能力称为**导电性**。金属及其合金具有良好的导电性能，银的导电性能最好，铜、铝次之，但银较贵，故工业上常用铜、铝及其合金作导电材料，如电线、电缆、电器元件等。导电性差、电阻率高的金属可用来制造电阻器和电热元件。

1.3.2 化学性能

金属的**化学性能**是指金属在室温或高温下抵抗外界化学介质侵蚀的能力，主要包括耐腐蚀性和抗氧化性等。

1. 耐腐蚀性

金属材料会与其周围的介质发生化学作用而使其表面被破坏，如钢铁的生锈，铜产生铜绿等，这种现象称为**锈蚀或腐蚀**，金属材料抵抗锈蚀或腐蚀的能力称为**耐腐蚀性**。

2. 抗氧化性

金属材料在高温下容易被周围环境中的氧气氧化而遭破坏，金属材料在高温下抵抗氧化作用的能力称为**抗氧化性**。

1.4 金属材料的工艺性能

金属材料工艺性能的好坏直接影响制造零件的工艺方法、质量及成本。