

机械工程材料

武建军 主编 孙继兵 李香芝 王瑞祥 编著

国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>

面向21世纪高等院校

机械类

专业规划教材

面向 21 世纪高等院校机械类专业规划教材

机械工程材料

武建军 主编
孙继兵 李香芝 王瑞祥 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书是根据国家教委高教司 1995 年 82 号通知颁发的《工程材料及机械制造基础教学基本要求》以及现行教学大纲和编者多年讲授《工程材料》课程的经验编写的。

本书内容主要包括 3 部分,共分 10 章。第一部分是金属学的基本原理,概括地介绍了金属和合金的性能与成分、组织结构以及加工工艺之间的关系;第二部分介绍了钢铁材料的热处理原理和工艺及其在机械产品零件加工过程中的作用;第三部分介绍了钢、铸铁、有色金属及合金、高分子材料、陶瓷材料、复合材料等常用材料的分类、编号、性能特点和用途、材料选用原则、典型零件选材及工艺分析等。

本书以培养学生合理选择材料和热处理工艺、妥善安排工艺路线的初步能力为主要目标,力求简明扼要,理论联系实际,并反映材料和热加工工艺的最新进展,可作为高等院校机械设计和制造类各专业的学生教材,也可供有关工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程材料/武建军主编;孙继兵等编著. —北京:
国防工业出版社, 2004. 9
面向 21 世纪高等院校机械类专业规划教材
ISBN 7-118-03638-2

I. 机... II. ①武... ②孙... 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(2004)第 094675 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 100044)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 16¼ 371 千字

2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:22.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: 68428422

发行邮购: 68414474

发行传真: 68411535

发行业务: 68472764

前 言

机械工业是一个国家的基础产业。目前,机械工业正向着高速、自动、精密方向迅速发展,在机械产品设计与制造过程中,涉及到材料与材料加工的问题越来越多。因此,在机械设计过程中,不可避免地要对工程材料的选择、应用与加工等问题进行科学系统的分析,并予以全面正确地解决。工程材料课程正是为实现这一目标而设置的。

《机械工程材料》是机械设计与制造类专业一门重要的技术基础课。通过本课程的学习,使学生在获得工程材料一般知识的基础上,了解常用材料成分、组织、性能和加工工艺之间的关系及其用途,从而使其初步具备合理选择材料和使用材料、正确选择加工方法及安排制订加工工艺路线的能力,也为后继有关课程的学习奠定必要的材料学基础。本书是根据规定的教学大纲和编者多年讲授《工程材料》课程的经验编写的,作为高等院校机械设计和制造类各专业的学生教材,也可供有关工程技术人员学习参考。本书以培养机械专业学生具有合理选用材料,正确选定热处理工艺方法,妥善安排工艺路线的初步能力为主要目标。教材内容取舍及层次安排都以以上教学目标为中心,务求使本书在内容和份量上符合机械设计和制造专业对本课程的要求,并且在难易程度上切合学生的水平。

本书内容主要包括3部分,共分10章。第1部分是金属学的基本原理,概括地介绍了金属和合金的性能与成分、组织结构以及加工工艺之间的关系;第2部分介绍了钢铁材料的热处理原理和工艺,及其在机械产品零件加工过程中的作用;第3部分介绍了钢、铸铁、有色金属及合金、高分子材料、陶瓷材料、复合材料等常用材料的分类、编号、性能特点和用途、材料选用原则、典型零件选材及工艺分析等。

本书由河北工业大学武建军教授主持编写,由李香芝教授编写第2章和第4章,孙继兵博士编写第6、第7、第9章及第10章的第3节,其余内容由武建军教授编写。全书经编者互审,最后由武建军教授统稿。王瑞祥教授参加了第6章的编写工作。

本书在编写过程中,曾参考一些同类教材,并得到许多有关同志的热忱帮助和支持,在此谨表示衷心感谢。由于我们教学及实践经验有限,加之编写时间仓促,书中可能有欠妥之处,恳切希望广大读者提出宝贵意见,以便在再版重印时予以修订。

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 材料发展概况	1
1.2 材料的力学性能	2
1.2.1 材料的强度与塑性	2
1.2.2 材料的硬度	4
1.2.3 材料的冲击韧性	5
1.2.4 材料的疲劳强度	6
1.2.5 材料的断裂韧性	7
1.3 工程材料的分类与性能特点	8
1.3.1 固体材料中的结合键	8
1.3.2 工程材料的分类和性能特点	10
1.4 机械零件的失效与选材原则	11
1.4.1 零件的失效	11
1.4.2 零件的选材原则	12
思考与练习	13
第 2 章 金属的结构与结晶	15
2.1 纯金属的晶体结构	15
2.1.1 晶体的概念	15
2.1.2 晶体中的晶面和晶向	16
2.1.3 3 种典型金属的晶体结构	18
2.1.4 金属晶体的各向异性	21
2.2 金属的实际结构与晶体缺陷	22
2.2.1 多晶体结构	22
2.2.2 晶体缺陷	22
2.3 金属的结晶与铸锭	25
2.3.1 纯金属的结晶过程	25
2.3.2 影响形核与长大的因素	28
2.3.3 晶粒大小及其控制	29
2.3.4 铸锭的组织与缺陷	30
2.4 金属中的扩散	32
2.4.1 扩散的概念	32
2.4.2 扩散机制	32

2.4.3 扩散定律·····	33
2.4.4 影响扩散的主要因素·····	33
思考与练习·····	34
第3章 金属塑性变形与再结晶 ·····	36
3.1 金属的塑性变形·····	36
3.1.1 单晶体金属的塑性变形·····	36
3.1.2 多晶体金属的塑性变形·····	39
3.2 塑性变形对组织和性能的影响·····	41
3.2.1 加工硬化·····	42
3.2.2 显微组织的变化·····	43
3.2.3 织构现象的产生·····	44
3.2.4 残余内应力·····	44
3.3 回复与再结晶·····	45
3.3.1 变形金属在加热时的组织和性能的变化·····	45
3.3.2 金属的再结晶温度·····	47
3.3.3 再结晶退火后的晶粒度·····	48
3.4 金属的热加工·····	49
3.4.1 热加工与冷加工的区别·····	49
3.4.2 热加工对金属组织和性能的影响·····	50
思考与练习·····	51
第4章 合金的结构与结晶 ·····	55
4.1 合金的晶体结构·····	55
4.1.1 固溶体·····	55
4.1.2 金属化合物·····	57
4.2 二元合金相图的建立与表示方法·····	58
4.2.1 二元合金相图的表示方法·····	58
4.2.2 二元合金相图的建立方法·····	59
4.3 匀晶相图和固溶体合金的结晶·····	60
4.3.1 相图分析·····	60
4.3.2 固溶体合金的平衡结晶过程·····	61
4.3.3 杠杆定律·····	61
4.3.4 非平衡结晶与枝晶偏析·····	62
4.4 共晶相图及其合金的结晶·····	62
4.4.1 相图分析·····	62
4.4.2 典型合金的平衡结晶·····	63
4.5 包晶相图与其他相图·····	66
4.5.1 相图分析·····	66
4.5.2 典型合金的结晶过程·····	66
4.5.3 其他相图·····	67

4.6 相图与合金性能的关系	68
4.6.1 合金的使用性能与相图的关系	68
4.6.2 合金的工艺性能与相图的关系	69
思考与练习	70
第5章 铁碳合金相图	73
5.1 Fe-Fe ₃ C 相图	73
5.1.1 铁碳合金中的基本相	73
5.1.2 相图的分析	74
5.1.3 典型合金的结晶过程分析	75
5.2 含碳量对 Fe-C 合金组织及性能的影响	80
5.2.1 含碳量对平衡组织的影响	80
5.2.2 含碳量对力学性能的影响	81
5.3 Fe-Fe ₃ C 相图的应用及局限性	82
5.3.1 铁碳相图的应用	82
5.3.2 铁碳相图的局限性	83
5.4 碳钢	84
5.4.1 碳钢中的常存杂质	84
5.4.2 碳钢的分类	85
5.4.3 碳钢的编号与用途	85
思考与练习	89
第6章 钢的热处理	93
6.1 钢在加热时的组织转变	93
6.1.1 钢的临界温度	94
6.1.2 奥氏体的形成	94
6.2 钢在冷却时的组织转变	97
6.2.1 过冷奥氏体的等温转变	97
6.2.2 过冷奥氏体的连续冷却转变	104
6.3 钢的退火和正火	105
6.3.1 退火和正火的目的	105
6.3.2 钢的退火操作及应用	106
6.3.3 钢的正火操作及应用	107
6.4 钢的淬火	108
6.4.1 淬火温度的选择	108
6.4.2 加热与保温时间的确定	109
6.4.3 淬火冷却介质	109
6.4.4 钢的淬透性与淬硬性	109
6.4.5 常用淬火方法	114
6.5 钢的回火	115
6.5.1 回火的目的	115

6.5.2 淬火钢在回火时的组织和性能变化	115
6.5.3 回火的分类和应用	116
6.5.4 钢的回火脆性	116
6.5.5 淬火、回火时常见的工艺缺陷及防止措施	117
6.6 钢的表面淬火和化学热处理	118
6.6.1 钢的表面淬火	118
6.6.2 钢的化学热处理	120
6.7 其他热处理技术及工艺简介	125
6.7.1 可控气氛热处理	125
6.7.2 真空热处理	126
6.7.3 形变热处理	127
6.7.4 激光表面改性技术	128
6.7.5 气相沉积技术	128
思考与练习	129
第7章 工业用钢	137
7.1 概述	137
7.1.1 钢的分类和牌号	137
7.1.2 合金元素在钢中的作用	139
7.1.3 合金元素对钢的强度和韧性的影响	141
7.2 工程构件用钢	142
7.2.1 普通碳素结构钢	142
7.2.2 低合金高强度结构钢	142
7.3 机械零件用钢	144
7.3.1 渗碳钢	144
7.3.2 调质钢	148
7.3.3 弹簧钢	153
7.3.4 滚动轴承钢	156
7.3.5 易切削钢	157
7.4 工具钢	158
7.4.1 刃具钢	158
7.4.2 模具钢	164
7.4.3 量具钢	169
7.5 特殊性能钢	170
7.5.1 不锈钢	170
7.5.2 耐热钢	175
7.5.3 耐磨钢	178
思考与练习	179
第8章 铸铁	185
8.1 概述	185

8.1.1	复线铁碳相图	185
8.1.2	石墨的形成过程	186
8.1.3	影响石墨化的主要因素	186
8.1.4	铸铁的组织及分类	187
8.1.5	灰口铸铁的性能特点	188
8.2	灰铸铁	189
8.2.1	灰铸铁的牌号	189
8.2.2	影响灰铸铁组织和性能的因素	191
8.2.3	孕育处理	192
8.2.4	灰铸铁的热处理	192
8.3	球墨铸铁	193
8.3.1	球墨铸铁的成分和球化处理	193
8.3.2	球墨铸铁的牌号、组织和性能	193
8.3.3	球墨铸铁的热处理	195
8.4	可锻铸铁	196
8.4.1	可锻铸铁的牌号和用途	197
8.4.2	可锻铸铁的生产和热处理	198
8.5	其他铸铁材料	199
8.5.1	耐磨铸铁	199
8.5.2	耐热铸铁	199
8.5.3	耐蚀铸铁	199
8.5.4	蠕墨铸铁	200
	思考与练习	200
第9章	有色金属及其合金	204
9.1	铝及其合金	204
9.1.1	纯铝	204
9.1.2	铝合金的分类	205
9.1.3	铝合金的强化	205
9.1.4	变形铝合金	206
9.1.5	铸造铝合金	208
9.2	铜及铜合金	211
9.2.1	纯铜	211
9.2.2	铜合金的分类和牌号	211
9.2.3	黄铜	212
9.2.4	青铜	214
9.2.5	白铜	217
9.3	轴承合金	217
9.3.1	滑动轴承对材料性能的要求	217
9.3.2	锡基轴承合金	218

9.3.3 铅基轴承合金	219
9.3.4 铝基轴承合金	220
9.3.5 铜基轴承合金	220
9.4 其他有色金属	221
9.4.1 钛及其合金	221
9.4.2 镁及其合金	221
9.4.3 锌及其合金	222
思考与练习	222
第 10 章 其他工程材料	225
10.1 高分子材料	225
10.1.1 工程塑料	225
10.1.2 橡胶	230
10.2 工业陶瓷	232
10.2.1 陶瓷材料的分类	233
10.2.2 陶瓷材料的组织结构	233
10.2.3 陶瓷材料的性能特点	233
10.2.3 常用工业陶瓷	234
10.3 复合材料	238
10.3.1 复合材料的概念	238
10.3.2 复合材料的分类	238
10.3.3 复合材料的性能特点	239
10.3.4 复合理论简介	240
10.3.5 常用复合材料	241
思考与练习	244
附录一 国内外常用钢号对照表	246
附录二 洛氏硬度 HRC 与其他硬度和强度换算表	249

第 1 章 概 论

1.1 材料发展概况

材料是人类用来制作各种产品的物质,是人类生产和生活的物质基础。从日常生活用具到高、精、尖的产品,从简单的手工工具到复杂的航天器、机器人,都是由不同种类、不同性能的材料加工成的零件组合装配而成。材料的利用情况标志着人类社会文明的发展水平,所以历史学家根据制造生产工具的材料将人类历史划分为石器时代、青铜器时代、铁器时代等。现代工业技术更是与材料的发展密切相关。材料、能源和信息已经成为现代文明的三大支柱,而且材料则是其中的物质基础。材料科学已经成为衡量一个国家科学技术水平、国民经济水平及综合国力的重要标志。许多国家都把新材料的研究开发放在了优先发展的地位。

在人类的发展史上,最先使用的材料都是天然材料,例如石头、树枝、泥土、兽皮等。在由古猿到原始人的漫长进化过程中,石器一直是人类使用的主要工具。在原始社会末期人类学会了用火,此后我们的祖先开始用火烧制陶器。到东汉时出现了瓷器,并于 9 世纪以后陆续传至非洲东部、阿拉伯世界、日本和欧洲。瓷器成为中国文化的象征,对世界文明产生了极大的影响。

青铜制品最早出现在古埃及和西亚,在我国,青铜的冶炼在夏(公元前 2140 年始)以前就开始了,到殷商、西周时期已发展到很高的水平,普遍用于制造各种工具、器皿和兵器。从河南安阳晚商遗址出土的司母戊鼎重达 875kg,外形尺寸为 133cm×78cm×110cm,是迄今世界上最古老的大型青铜器。从湖北江陵楚墓中发掘出的越王勾践的两把宝剑至今仍锋利异常,是我国古代青铜器的杰作。从湖北隋县出土的战国青铜编钟是我国古代文化艺术高度发达的见证。春秋战国时期,《周礼·考工记》中关于青铜“六齐”的科学论述,反映我们的祖先已经认识到了青铜的性能与成分之间的关系。他们在青铜材料的冶炼和应用方面在当时达到了世界的最高水平,创造了灿烂的青铜文化。

铁器在公元前 2000 多年以前在亚洲大地上出现以后,逐渐在文明古国巴比伦、埃及和希腊得到了广泛应用。我国从春秋战国时期(公元前 770 年~公元前 221 年)开始大量使用铁器。到了西汉时期,开始采用煤作为炼铁的燃料。我国古代创造了三种炼钢方法:第一种是从矿石中直接炼出自然钢,用这种钢制作的剑在东方各国享有盛誉,东汉时传入了欧洲;第二种是西汉时期经过反复锻打得到的百炼钢;第三种是南北朝时期生产的灌钢。我国先炼铁后炼钢的两步炼钢技术要比其他国家早 1600 多年。经过许多世纪的发展,创造了不少冶炼技术,使以钢铁为代表的材料的生产和应用跨进了一个新的阶段。但是,由于材料涉及复杂的物理、化学问题,直到 17 世纪的科学革命和 18 世纪、19 世纪初的工业革命时期,人们对材料的认识仍然停留在工匠、艺人的经验技术水平上。

进入 20 世纪以来,非金属材料得到了长足的发展,尤以人工合成高分子材料的发展最快。到 20 世纪 70 年代中期,全世界的有机合成材料和钢的体积产量已经相等。陶瓷材料的发展同样十分引人注目,它因为具有许多特殊性能而成为重要的功能材料,例如可作光导纤维、激光晶体等,除此以外它也是最有前途的高温结构材料。机器零件和工程结构已不再只使用金属材料制造了。

材料的性能包括使用性能和工艺性能两方面。使用性能是材料在使用条件下表现出的性能,如力学性能、物理性能和化学性能等;工艺性能则是指材料在加工过程中反映出的性能,如切削加工性能、铸造性能、压力加工性能、焊接性能、热处理性能等。根据材料所要求的使用性能,可以将固体材料分为结构材料与功能材料两大类。结构材料主要用于制作工程结构和零件,以强度、韧性、塑性等力学性能作为主要的使用性能。而那些主要要求电、光、声、磁、热等功能和效应的材料则属于功能材料,一般在工程材料课程中不予讨论。

生产实践告诉我们,不同组成的材料,甚至组成完全相同但经不同工艺加工的材料,可能表现出截然不同的性能。根据光学显微镜、X 射线技术、电子显微镜等仪器的观察结果,材料性能是由其组织、结构所决定的。一般而言,材料的结构是指材料中原子的结构及原子间的具体结合方式。而组织是指用肉眼或不同放大倍数显微镜所观察到的形貌。工程材料主要介绍材料的化学成分、组织、性能以及应用方面的一般规律,为工程结构和机器零件的设计和使用提供正确选材和合理用材的基本原则、方法和知识,同时也为某些机械设计、制造和工艺专业及学科提供必要的理论基础。

1.2 材料的力学性能

工程材料在各种形式外力作用下所表现出的特性称为材料的力学性能。材料的力学性能是衡量工程材料性能优劣的主要指标,也是机械设计人员在设计过程中选用材料的主要依据。材料的力学性能主要包括强度、塑性、硬度、韧性、抗疲劳性和耐磨性等。材料的力学性能可以从机械设计手册中查到,也可以的力学性能试验通过方法获得。

1.2.1 材料的强度与塑性

材料抵抗变形和断裂的能力称为材料的强度。根据外力的作用方式,材料的强度分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗剪强度等,其中以抗拉强度最为常用。通过拉伸试验可以测量材料的抗拉强度。

1. 拉伸试验及拉伸曲线

拉伸试验可以在拉伸试验机上进行。随着拉力的增加,试样被拉长,直至拉断为止。在拉伸过程中,拉伸试验机自动记录载荷 P —伸长 ΔL 曲线或应力 σ —应变 ϵ 曲线。 σ 和 ϵ 的定义可表示如下:

$$\sigma = P/S_0$$

式中 P 是轴向拉力, S_0 为试样的初始横截面积;

$$\epsilon = \Delta L/L_0$$

式中 L_0 ——试样标距长度, ΔL 为试样标距的伸长量。

图 1-1 所示分别是低碳钢和 3 种铸铁的 $\sigma-\epsilon$ 曲线图。拉伸过程一般可以分为弹性变形、塑性变形和断裂 3 个阶段。

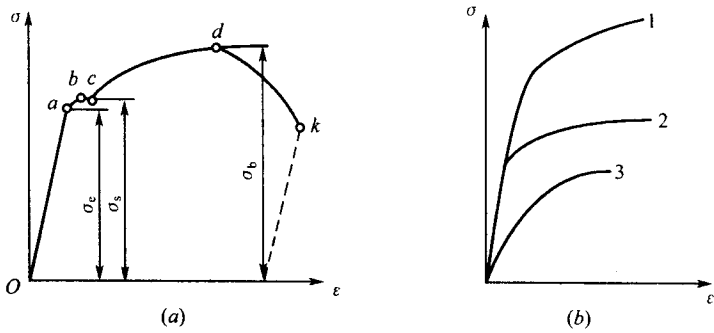


图 1-1 低碳钢和铸铁的拉伸曲线
(a)低碳钢; (b)1-珠光体球铁,2-铁素体球铁,3-灰铸铁。

在应力较低时,应力与应变呈直线关系,遵循虎克定律。此时如果卸掉载荷,试样能恢复到原来的长度,这属于弹性变形阶段。

当应力超过某一水平以后, σ 与 ϵ 之间的关系偏离直线关系。随着应变不断增大,应力增加速率变缓,此时即使卸掉载荷,试样也不能恢复到原来的长度,即发生了塑性变形,这属于塑性变形阶段。比较发现,低碳钢与铸铁的拉伸曲线明显不同。对于低碳钢,当应力达到最大值后,试样的某一部分截面急剧缩小,产生“缩颈”现象。此后,试样的变形主要集中在缩颈部分,最终导致试样在缩颈处发生断裂。铸铁在断裂之前塑性变形较小,也不产生缩颈现象。

2. 拉伸曲线所确定的力学性能指标及意义

根据 $\sigma-\epsilon$ 曲线可以计算出材料的强度、塑性等力学性能指标。

(1) 弹性模量。在弹性变形阶段,直线的斜率就是材料的弹性模量 E ,弹性模量表征材料产生弹性变形的难易程度。弹性模量主要取决于原子之间的结合力大小。因此要想提高制品的刚度,只能更换材料、改变结构形式或增加截面面积。

(2) 屈服强度。在拉伸过程中,载荷不增加而应变仍在增大的现象称为屈服。拉伸曲线上与此相对应的应力称为材料的屈服强度,记为 σ_s 。对于在拉伸过程中屈服现象不明显的材料,规定以残余变形量为 0.2% 时的应力值作为它的条件屈服强度,记为 $\sigma_{0.2}$ 。机械零部件或构件在使用过程中一般不允许发生塑性变形,所以材料的屈服强度是评价材料承载能力的重要力学性能指标。

(3) 抗拉强度。拉伸曲线上应力的最大值称为材料的抗拉强度,它反映试样被拉断前所能承载的最大应力,抗拉强度也称为强度极限,记为 σ_b 。抗拉强度是零部件设计和评定材料时的重要强度指标。对于脆性材料,由于拉伸时没有明显的屈服现象,这时一般用抗拉强度指标作为设计依据。

抗拉强度与密度之比称为比强度,它也是零件选材的重要指标。

(4) 伸长率。伸长率即断裂前试样的残余伸长。伸长率反映材料塑性变形能力的大小,用 δ 表示,其定义式为

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中 L_0 为拉伸试样标距原长, L_1 为试样拉断后标距长度。伸长率的数值和试样标距长度有关。

断面收缩率。断面收缩率也是一个塑性指标, 记为 ψ , 其定义式为

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

式中 S_0 是试样原始横截面积, S_1 是断口细颈处的横截面积。

断面收缩率的数值受试样尺寸的影响较小, 用断面收缩率可以更好地反映材料的真实变形能力。 δ 或 ψ 值愈大, 说明材料的塑性愈好。良好的塑性是材料进行压力加工的必要条件。

1.2.2 材料的硬度

材料抵抗其他硬物压入其表面的能力称为硬度, 工程上常用的硬度有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。一般情况下, 材料的硬度越高, 其耐磨性就越好。

1. 布氏硬度

布氏硬度试验是用一定载荷把一定直径的球形压头压入试样的表面, 保持一定时间后卸掉载荷。用载荷除以压痕表面积所得的商值, 作为被测材料的布氏硬度值。布氏硬度的单位为 kg/mm^2 , 但习惯上不标单位。实际应用中一般不直接计算布氏硬度值, 而是根据测量的压痕直径在相关的表中直接查出布氏硬度值。

用淬火钢球作为压头测出的硬度值以 HBS 表示, 适用于测量硬度小于 450HBS 的材料, 如结构钢、铸铁及有色金属等; 用硬质合金球作为压头测出的硬度值以 HBW 表示, 适用于测量硬度不超过 650HBS 的材料。布氏硬度试验的优点是测量结果准确, 缺点是压痕较大, 不适合用于成品检验。

2. 洛氏硬度

洛氏硬度测试原理如图 1-2 所示。先施加一个初载荷, 然后在规定的主载荷作用下将压头压入被测材料的表面。卸除主载荷后, 根据压痕的深度确定被测材料的洛氏硬度, 该值可以直接从硬度计的显示器上读出。

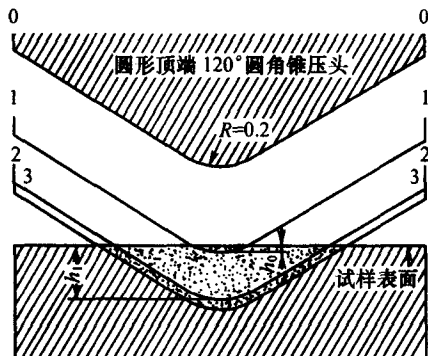


图 1-2 洛氏硬度测试原理

用金刚石锥体压头,在总载荷为 588.4N(60kg)的情况下测得的硬度值以 HRA 表示,适用于测量高硬度的材料,如硬质合金;用淬火钢球压头,在总载荷为 980.7N(100kg)的情况下,测得的硬度值以 HRB 表示,适用于测量较软的材料,如退火、正火钢或有色金属等;用金刚石锥体压头,在总载荷为 1471N(150kg)的情况下,测得的硬度值以 HRC 表示,适用于测量淬火钢等硬材料。3 种洛氏硬度中,以 HRC 用得最多。

洛氏硬度测量迅速简便,压痕小,可在成品零件上检测,也可测定较薄工件或表面有较薄硬化层的工件的硬度。但由于压痕比较小,易受材料微区不均匀的影响,因而数据的重复性比较差。

3. 维氏硬度

维氏硬度测定原理基本上与布氏硬度相同,也是根据压痕凹陷处单位面积上的力的大小作为硬度值,但使用的是锥面夹角为 136° 的金刚石正四棱锥体,压痕是四方锥形。

维氏硬度所用载荷小,压痕深度浅,硬度测量精确度高于布氏硬度和洛氏硬度,适用于测量较薄的材料或表面硬化层、金属镀层的硬度。由于维氏硬度的压头是金刚石角锥,载荷可调范围大,所以维氏硬度可用于测量从软到硬的各种工程材料,测定范围是 0HV~1000HV。

为了测量一些特殊性能和特殊形状材料的硬度,可以选择其他的硬度试验方法。如显微硬度法可用于测量一些薄的镀层、渗层或某一相的硬度;肖氏硬度适合在现场对大型试件(如机床床身、大型齿轮等)进行硬度测量。莫氏硬度用于测量陶瓷和矿物的硬度。

由于各种硬度的试验条件不同,所以它们之间没有直接的换算关系,只能通过查表进行换算。标注某种材料的硬度值时,必须说明它的硬度测试方法。在工程图样上正确标注材料硬度的方法是硬度值加硬度测试方法代号,如“洛氏硬度 60”的书写格式为“60HRC”。

硬度试验方法比较简单快捷、基本上不影响零件的使用,而且材料的硬度与它的力学性能如强度、耐磨性以及工艺性能,如切削加工性、可焊性等之间存在着一定的对应关系,所以硬度是检验产品质量的重要指标之一。

1.2.3 材料的冲击韧性

材料的韧性是指材料在塑性变形和断裂的全过程中吸收能量的能力,它是材料塑性和强度的综合表现。材料的韧性与脆性是两个意义上完全相反的概念,根据材料的断裂形式可分为韧性断裂和脆性断裂。

冲击韧性是指材料在冲击载荷的作用下,材料抵抗变形和断裂的能力。材料的冲击韧性值常用一次摆锤冲击试验法测定,其试验原理如图 1-3 所示。

冲击试验时,把有 U 型或 V 型缺口(脆性材料可不开缺口)的标准冲击试样背向摆锤方向放在冲击试验机上。将质量为 m 的摆锤升到规定的高度 H ,然后自由落下将试样击断。在惯性的作用下,击断试样后的摆锤会继续上升到某一高度 h 。根据功能原理,摆锤击断试样所消耗的功 $A_K = mg(H - h)$ 。 A_K 可以从冲击试验机上直接读出,称为冲击吸收功。 A_K 除以试样缺口处横截面积 S 的值则为该材料的冲击韧性值,用符号 a_k 表示,单位为 J/cm^2 。

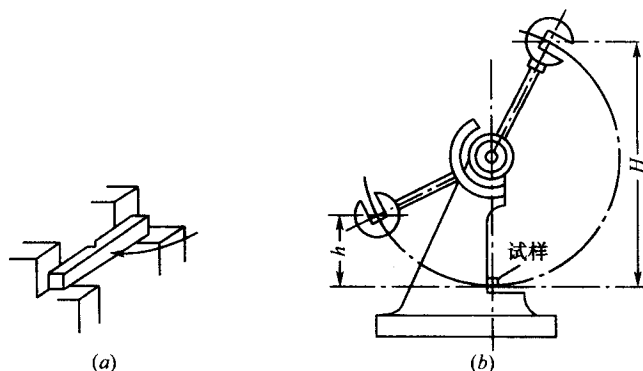


图 1-3 冲击试验原理示意图

(a)试样; (b)试验示意图。

根据试样的缺口型式, U 型缺口和 V 型缺口试样的冲击韧度值分别以 a_{ku} 和 a_{kv} 表示。不同型式试样的冲击韧度值不能直接进行比较或换算。

材料的冲击韧度的大小除了与材料本身特性, 如化学成分、显微组织和冶金质量等有关外, 还受试样的尺寸、缺口形状、加工粗糙度和试验环境等影响。由于材料的冲击韧度值是在一次冲断的条件下获得的, 对判断材料抵抗大能量冲击能力有一定的意义。实际上, 在冲击载荷下工作的机械零件, 很少受到大能量的一次冲击而破坏, 大多都是受到小能量的多次冲击后才失效破坏的。一般来说, 材料抵抗大能量一次冲击的能力主要取决于材料的塑性, 而抵抗小能量多次冲击的能力则更多地取决于材料的强度。所以在设计机械零件时, 不能片面地追求高的 α_k 值, α_k 值过高必然要降低强度, 从而导致零件在使用过程中因强度不足而早期失效。

材料的韧性均有随温度下降而降低的趋势, 但不同的材料韧性下降的程度不一样。对于一些中低强度的钢在某一温度以下具有明显的冷脆性。材料从韧性状态转变为脆性状态的临界转变温度称为材料的冷脆转化温度 T_k 。用于低温工作环境中的材料要进行低温冲击试验。

对于脆性材料, 如陶瓷, 一般不采用冲击韧度作为韧性的量度, 因为当材料的韧性很低时, 采用一次摆锤冲击试验法获得的冲击韧度值的精度不能满足测量的要求。

1.2.4 材料的疲劳强度

材料在交变应力或脉动应力作用下发生的断裂现象称为疲劳断裂。疲劳断裂可以在应力低于材料的屈服强度时发生, 断裂前无明显的塑性变形及其他任何先兆, 因此疲劳断裂的后果是十分严重的。

材料的疲劳强度可以通过疲劳试验机进行测定。图 1-4 所示是材料的疲劳特性试验示意图。将光滑的标准试样的一端固定并使试样旋转, 在另一端施加载荷。在试样旋转过程中, 试样工作部分的应力将承受周期性的变化, 从拉应力到压应力, 循环往复, 直至试样断裂。

材料所受的交变应力与断裂循环次数之间的关系可以用图 1-5 所示的材料的疲劳曲线(也称 $\sigma-N$ 曲线)描述。从 $\sigma-N$ 曲线可以看出, 应力幅度 σ 愈小, 循环周数 N 愈

大。当应力低于某数值时,经无数次应力循环也不会发生疲劳断裂,此应力称为材料的疲劳极限,通常用 σ_r 表示(r 是应力循环对称系数),单位为 MPa。如果采用对称的循环应力,材料的疲劳强度用 σ_{-1} 表示。

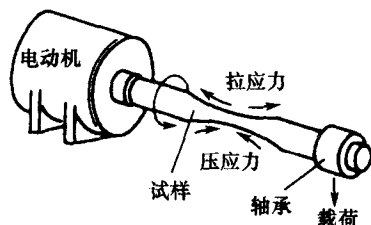


图 1-4 疲劳特性试验示意图

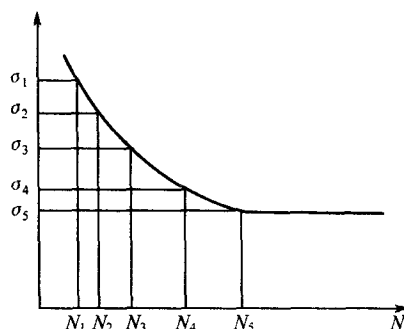


图 1-5 材料的疲劳曲线

由于疲劳试验时不可能进行无限循环周次,而且有些材料的疲劳曲线上没有水平部分,因此规定一个应力循环基数,对应的应力作为该材料的疲劳极限。一般钢铁的循环基数为 10^7 ,有色金属和某些超高强度钢的循环基数为 10^8 。

一般钢铁材料的 σ_{-1} 值约为其 σ_b 的一半,而非金属材料的疲劳极限一般远低于金属材料。

在机械零件的断裂中,80% 以上都属于疲劳断裂。影响疲劳强度的因素很多,其中主要有应力循环特性、材料的本质、残余应力和表面质量等。在生产中常采用各种材料表面强化处理技术,使金属的表层获得有利于提高材料疲劳强度的残余压应力分布。这些表面强化技术包括喷丸、滚压、渗碳、渗氮和表面淬火等。此外,减小零件表面的粗糙度也可以显著地提高材料的疲劳极限。

1.2.5 材料的断裂韧性

在工程构件和机械零件设计中,通常都是用材料的屈服点作为材料的许用应力 $[\sigma]$ ($[\sigma] = \sigma_s / n$, $n > 1$)。一般认为,只要零件的工作应力小于或等于许用应力就不会发生塑性变形,更不会发生断裂。但是,一些用高强度钢制造的零件或大型焊接构件,如桥梁、船舶等,有时会在工作应力远低于材料屈服点,甚至低于许用应力的条件下,突然发生脆性断裂,这样的断裂称为低应力脆断。

断裂韧性是以断裂力学为基础的材料韧性指标。断裂力学把材料的断裂过程与裂纹扩展时所需的功联系起来,对材料使用寿命的评估和机器零件的可靠性设计具有重要的指导意义。

在传统材料力学中都是假定材料内部是完整的、连续的,所以从材料力学的角度无法解释材料的低应力脆断现象。实际上,材料或构件本身不可避免会存在各种冶金或加工缺陷,这些缺陷相当于裂纹,或者它们在使用过程中扩展成为裂纹。近代断裂力学认为,低应力脆断正是由于这些微裂纹在外力作用下的扩展造成的。一旦裂纹长度达到某一临界尺寸时,裂纹的扩展速度就会剧增,从而导致断裂。材料抵抗裂纹失稳扩展断裂的能力称为断裂韧性。