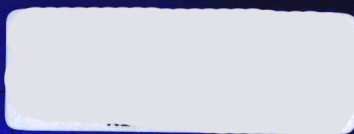
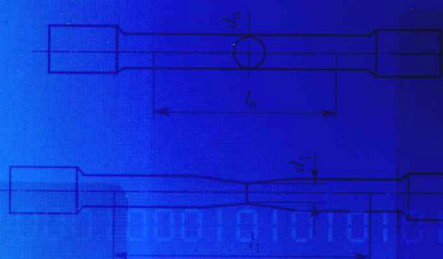




全国高等教育机械类专业规划教材

机械工程材料

罗中平 主 编
刘义伦 主 审



JIXIE
GONGCHENG
CAILIAO



化学工业出版社

全国高等教育机械类专业规划教材

机械工程材料

	罗中平	主 编
彭成章	朱亨荣	副主编
	刘义伦	主 审



化学工业出版社

· 北 京 ·

全书共分为三篇十一章，第一篇为机械工程材料的基础理论，第二篇为常用机械工程材料，第三篇为机械工程材料的选用。各章后面都有本章内容小结和一定量的习题与思考题。书末附录特别收集了多类常用相关资料，方便读者参阅。

本书为适应当前课程调整课时减少的需要，对传统的金属工艺学内容进行了精选，对部分知识点作了相应整合，以达到培养学生使用 and 选择工程材料的能力为主要目的。在编写顺序上，按照由浅入深、深入浅出、循序渐进、便于教学的思路，注重培养学生分析问题和解决问题的能力。

本书主要作为普通高等学校本科机械类及近机类专业的教材，也可作为高职高专及成人教育机械类及机电类专业的教学用书，还可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械工程材料/罗中平主编. —北京: 化学工业出版社, 2012.7

全国高等教育机械类专业规划教材

ISBN 978-7-122-14552-9

I. ①机… II. ①罗… III. ①机械制造材料-高等学校-教材 IV. ①TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 127891 号

责任编辑: 高 钰

文字编辑: 陈 喆

责任校对: 陈 静

装帧设计: 史利平

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 11 $\frac{3}{4}$ 字数 289 千字 2012 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

前言

“机械工程材料”是机械类专业的一门技术基础课。本书从机械工程的应用角度出发,阐明机械工程材料的基础理论,分析材料的成分、加工工艺、组织与性能之间的关系,介绍常用机械工程材料及其应用的基础知识。全书分为三篇十一章。第一篇为机械工程材料的基础理论,包括材料的分类和性能,金属的晶体结构与塑性变形和再结晶,合金的结构与铁碳相图,金属强化理论和钢的热处理原理及工艺。第二篇为常用机械工程材料,包括工业用钢,铸铁,有色金属及其合金,非金属材料和新材料简介。第三篇为机械工程材料的选用,包括机械零件的失效分析和表面处理简介及机械零件的选材。书末附录特别收集了多类常用相关资料,方便读者参阅。

本课程的教学目的是使学生在掌握机械工程材料基础理论的基础上,具备根据机械零件工作条件和性能要求,在设计过程中进行科学选材及合理制定加工工艺路线的初步能力。本书为适应当前课程调整课时减少的需要,对传统的金属工艺学内容进行了精选,以培养学生使用 and 选择工程材料的能力为主要目的,除去了繁冗的细节,保留了必要的理论基础,并增加了新材料和新工艺及其发展趋势的介绍。在编写顺序上,按照由浅入深、深入浅出、循序渐进、便于教学的思路,注重培养学生分析问题和解决问题的能力,章后安排有小结和相应习题与思考题。在编写过程中,笔者结合多年的教学经验,对部分知识点作了相应整合,以便节省教学时间。

本书主要作为普通高等学校本科机械类及近机类专业的教材,也可作为高职高专及成人教育机械类及机电类专业的教学用书,还可供有关工程技术人员参考。在使用本教材时,可根据专业的具体情况和教学安排课时数选取课堂教学内容,有些内容可安排学生自学。

本书由湖南工业大学罗中平教授主编,湖南科技大学彭成章教授和湖南工业大学朱亨荣老师任副主编。第一、二、四、十及十一章由罗中平编写;第五和第六章由彭成章编写;第三章由江西理工大学刘赣华副教授编写;第七章由朱亨荣编写;第八章由湖南工业大学熊宏编写;第九章由长沙理工大学陈书涵编写。全书由罗中平统稿。

本书由中南大学刘义伦教授主审。本书编写得到了兄弟院校的支持,参考了相应文献资料,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中存在疏漏和不足之处,敬请广大读者批评指正。

编者
2012年4月

目 录

绪论	1
第一篇 机械工程材料的基本理论	3
第一章 机械工程材料的分类和性能	3
第一节 机械工程材料的分类	3
第二节 机械工程材料的力学性能	4
第三节 机械工程材料的其他性能	8
本章小结	10
习题与思考题	11
第二章 金属的晶体结构与塑性变形和再结晶	12
第一节 金属晶体结构	12
第二节 金属的结晶与同素异晶转变	16
第三节 金属的塑性变形与再结晶	20
本章小结	26
习题与思考题	27
第三章 合金的结构与铁碳相图	28
第一节 合金的相结构	28
第二节 二元合金相图	30
第三节 铁碳合金相图	35
第四节 铁碳合金成分、组织和性能关系及相图的应用	42
本章小结	45
习题与思考题	46
第四章 金属强化理论和钢的热处理	47
第一节 金属强化理论简介	47
第二节 钢的热处理概述	50
第三节 钢的加热转变	51
第四节 钢的冷却转变	53
第五节 钢的退火与正火	60
第六节 钢的淬火与回火	62
第七节 钢的表面热处理和热处理新技术简介	68
本章小结	74
习题与思考题	74
第二篇 常用机械工程材料	76
第五章 工业用钢	76
第一节 概述	76

	第二节 结构钢	82
	第三节 工具钢	91
	第四节 特殊性能钢	97
	本章小结	103
	习题与思考题	104
第六章	铸铁	105
	第一节 概述	105
	第二节 常用铸铁	107
	本章小结	113
	习题与思考题	114
第七章	有色金属及其合金	115
	第一节 铝及铝合金	115
	第二节 铜及铜合金	119
	第三节 滑动轴承合金	123
	本章小结	125
	习题与思考题	126
第八章	非金属材料	127
	第一节 高分子材料	127
	第二节 陶瓷材料	134
	本章小结	138
	习题与思考题	138
第九章	新材料简介	140
	第一节 复合材料	140
	第二节 其他新型材料	144
	本章小结	152
	习题与思考题	152
第三篇	机械工程材料的选用	154
第十章	机械零件的失效分析和表面处理简介	154
	第一节 机械零件的失效分析	154
	第二节 材料的表面处理技术简介	157
	本章小结	161
	习题与思考题	162
第十一章	机械零件的选材	163
	第一节 选材的一般原则	163
	第二节 材料选择的步骤与方法	165
	第三节 典型零件的选材及其热处理和应用举例	167
	本章小结	175
	习题与思考题	176
附录		177
参考文献		181

绪 论

材料是人类生产活动和日常生活的物质基础，是人类文明和技术进步的基石和先导，也是衡量人类社会文明程度及劳动力发展水平的标志。纵观人类历史的发展，就是以所使用材料的不同而划分为石器时代、青铜器时代和铁器时代的。现代工业技术的发展，同样与材料特别是新型材料紧密相关。20 世纪 70 年代以来，人们把新材料和能源、信息技术一起列为现代科学技术和现代文明的三大支柱；而在这三者中，新材料又是最重要的基础。进入 21 世纪，新材料技术、信息技术和生物技术并列为新技术革命的重要标志。当前，全世界材料总数约 50 余万种，新型材料则每年以 5% 左右的速度递增。因此，材料的质量、品种和数量就成为衡量一个国家科学技术、国民经济和国防力量的重要标志之一。历史证明，每一次重大新技术的发现，往往都依赖于新材料的发展。

早在远古时期，人类的祖先是以前石器为主要工具的，这就是所谓的石器时代。人们在不断改进石器和寻找石料的过程中发现了天然铜块和铜矿石，并在用火烧制陶器的生产过程中发现了冶铜术，后来又发现把锡矿石加到红铜里一起熔炼，制成的物品更加坚韧、耐磨，这就是青铜。公元前 5000 年人类进入青铜器时代。公元前 1200 年左右，人类进入铁器时代，开始使用铸铁。后来制钢工业迅速发展，成为 18 世纪产业革命的重要内容和物质基础。所以也有人将 18~19 世纪称“钢铁时代”。进入 20 世纪后半叶，新材料研制日新月异，出现了所谓高分子材料、半导体材料、先进陶瓷材料、复合材料、纳米材料、高温超导材料、激光材料、磁性材料、电子材料、形状记忆材料和生物材料等一系列新的材料。材料的发展进入了丰富多彩的新时代。材料科学技术的发展和应用，促成了机械制造业的腾飞。

在人类研究材料发展的历史长河中，发现材料的性能与它的组织结构有密切关系。因此要研究材料，就必须先了解材料的性能、组织与结构的基本概念。

工程材料的性能主要是指材料的使用性能及工艺性能。

材料的使用性能是指在服役条件下，能保证安全可靠工作所必备的性能，其中包括材料的机械性能（力学性能）、物理性能、化学性能等。对绝大多数工程材料来说，机械性能是最主要的使用性能。

材料的工艺性能是指材料的可加工性。其中包括锻造性能、铸造性能、焊接性能、热处理及切削加工性等。

材料的结构是指构成材料的基本质点（原子、离子或分子等）如何结合与排列的。它表明材料的构成方式。

材料的组织是指借助于显微镜所能观察到的材料微观组成与形貌。因此，又称显微组织。

研究结果表明，材料的性能与组织、结构间存在着因果关系。也就是说，材料的性能是由它的组织结构决定的。因此，要想改变材料的性能，必然存在着一定的规律性。它成为材料科学的基本理论，是不断研制新材料、新工艺及新技术的依据。

不言而喻，机械工程材料也是以此理论为基础的。但对于非材料专业的人员来说，其任务主要是从事各种机械产品的设计。要求设计者能根据零件的工作条件与性能要求，会合理

地选择材料和编制机械零件的加工工艺。因此,机械工程材料教材编写的内容与重点显然与材料专业不同。主要是在介绍有关材料的性能与组织结构等基本概念的基础上,重点掌握已有各类工程材料的使用性能及加工工艺特性,为合理地选材及编制零件的加工工艺奠定基础。因此,它是培养高水平的设计专家不可缺少的课程。

机械工程材料是机械制造、机械设计、机械电子工程等机械类或近机类各专业的技术基础课。其目的是使学生获得有关工程结构和机器零件常用的金属材料和非金属材料的基本理论知识,并使其初步具备根据零件工作条件和失效方式合理选择与使用材料,正确制订零件的冷、热加工工艺路线的能力。

“机械工程材料”的内容包括:

① 机械工程材料的基础理论。即材料的性能、材料的结构、材料的凝固、二元合金及铁碳相图、金属的塑性变形与再结晶、钢的热处理。

② 工程材料。即工业用钢、铸铁、有色金属及合金、高分子材料、无机非金属材料、复合材料、功能材料等。

③ 机械零件的失效、强化与选材。即机械零件的失效与强化,机械零件的选材。

“机械工程材料”是以化学、物理、材料力学及金属工艺学和金工实习教学为基础的课程,在学习时应联系上述基础课程的有关内容,以加深对本课程内容的理解。同时本课程又是设计选材的基础,在今后学习有关专业课程时,还应经常联系本书的有关内容,以便进一步掌握所学知识。此外,“机械工程材料”是一门从生产实践中发展起来,而又直接为生产服务的科学,所以学习时不但要注意学习基本理论,而且要注意联系生产实际及实验室试验。

第一篇 机械工程材料的基本理论

第一章 机械工程材料的分类和性能

机械工程材料按其化学组成可分为金属材料、高聚物材料（高分子材料）、无机非金属材料（即陶瓷材料，简称无机材料）和复合材料四大类。按其使用性能可分为结构材料和功能材料。所谓结构材料，主要是指要求强度、硬度、塑性、韧性等力学性能，是用来制造机器零件和工程构件的材料；而功能材料则是指主要利用其电、光、声、磁、热等效应和功能的材料。

材料性能是指材料在外界因素作用下表现出来的行为。在选择材料时，必须考虑材料的相关性能，使之与所要求的性能相符合。材料的性能一般分为使用性能和工艺性能两大类：使用性能是指材料在使用过程中所表现的性能，包括力学性能、物理性能和化学性能。工艺性能是指材料在加工过程中所表现的性能，包括铸造、锻压、焊接、热处理和切削加工性能等。

使用性能是机械零件材料选材的首要考虑因素。材料用于结构零件时，其力学性能是工程设计、选材的主要依据。在不同使用条件下，对材料力学性能的要求是不同的。由于力学性能是结构件选材的主要依据，因此本章主要讨论材料的力学性能。

第一节 机械工程材料的分类

工程材料是指具有一定性能，在特定条件下能够承担某种功能、被用来制取零件和元件的材料。工程材料种类繁多，有许多不同的分类方法。

一、按材料的化学组成分类

1. 金属材料

金属材料可分为黑色金属材料（钢和铸铁）及有色金属材料（除钢铁之外的金属材料）。有色金属材料种类很多，按照它们的特性的不同，又可分为轻金属、重金属、贵金属、稀有金属和放射性金属等多种。目前金属材料仍然是应用最广泛的工程材料。

2. 高聚物材料（高分子材料）

高分子材料按材料来源可分为天然高分子材料（蛋白、淀粉、纤维素等）和人工合成高分子材料（合成塑料、合成橡胶、合成纤维）。按性能及用途可分为塑料、橡胶、纤维、胶黏剂、涂料。

3. 无机非金属材料

无机非金属材料包括水泥、玻璃、耐火材料和陶瓷等。它们的主要原料是硅酸盐矿物，又称硅酸盐材料，因不具备金属性质，亦称无机非金属材料。

4. 复合材料

由于多数金属材料不耐腐蚀、无机非金属材料脆性大、高分子材料不耐高温，人们把上述两种或两种以上的不同材料组合起来，使之取长补短、相得益彰，就构成了复合材料。复合材料由基体材料和增强材料复合而成。基体材料有金属、塑料、陶瓷等，增强材料有各种纤维和无机化合物颗粒等。

二、按材料和使用性能分类

1. 结构材料

结构材料是以强度、刚度、塑性、韧性、硬度、疲劳强度、耐磨性等力学性能为性能指标，用来制造承受载荷、传递动力的零件和构件的材料。它可以是金属材料、高分子材料、陶瓷材料或复合材料。

2. 功能材料

功能材料是以声、光、电、磁、热等物理性能为性能指标，用来制造具有特殊性能的元件的材料，如大规模集成电路材料、信息记录材料、光学材料、充电材料、激光材料、超导材料、传感器材料、储氢材料等都属于功能材料。目前功能材料在通信、计算机、电子、激光和空间科学等领域中扮演着极重要的角色。

在人类漫长的历史发展进程中，材料一直是社会进步的物质基础和先导。在 21 世纪，材料科学必将在当代科学技术迅猛发展的基础上，朝着高功能化、超高性能化、复杂化（复合化和杂化）和智能化的方向发展，从而为人类社会的物质文明建设作出更大贡献。

第二节 机械工程材料的力学性能

材料在力的作用下所表现出的特性即为材料的力学性能。通常把力的作用称为载荷或负荷。材料的力学性能包括强度、硬度、塑性、韧性、疲劳特性、耐磨性等。材料在外力作用下发生的形状和尺寸变化称为变形，外力去除后能够恢复的变形称为弹性变形，外力去除后不能恢复的变形称为塑性变形。

一、弹性与刚度

评价材料力学性能的指标是通过拉伸试验测定的。将被测材料按 GB/T 228—2002 要求制成标准拉伸试样（见图 1-1），在拉伸试验机上夹紧试样两端，缓慢施加轴向载荷，使之发生变形直至断裂。通过试验可以得到拉伸力与试样伸长量之间的关系曲线（称为拉伸曲线）。为消除试样几何尺寸对实验结果的影响，将拉伸过程中试样所受的拉伸力转化为试样单位截面积上所受的力（称为应力），试样伸长量转化为试样单位长度上的伸长量（称为应变），得到应力-应变曲线，其形状与拉伸曲线完全一致。图 1-2 所示为低碳钢的应力-应变曲线。在应力-应变曲线中，OA 段为直线，此时将外力去除后，试样将恢复到原来的尺寸，将 OA 段称为弹性变形阶段。A 点所对应的应力为材料承受最大弹性变形时的应力，称为弹性极限，用 σ_e 表示。其中 OA' 段，应力与应变成正比关系，将 σ_p 称为比例极限。由于 A 点和 A' 点很接近，一般不作区分。

在弹性范围内，应力与应变的比值称为弹性模量，即 $E = \sigma / \epsilon$ 。在工程上，E 称为材料的刚度，是材料的重要力学性能指标之一，它表征材料受力时对弹性变形的抗力。其值愈大，材料产生一定量的弹性变形所需的应力愈大，表明材料不易产生弹性变形，即材料的刚度大。如果材料的刚度不足，则易发生过大的弹性变形而产生失效。

金属材料弹性模量的大小主要取决于基体金属的本性,除随温度升高而逐渐降低外,难以通过其他强化材料的方法(如合金化、热处理、冷热加工等)使之改变。工件的刚度除取决于材料的弹性模量外,还与工件的形状和尺寸有关,可以通过增加横截面积或改变截面形状来提高刚度。

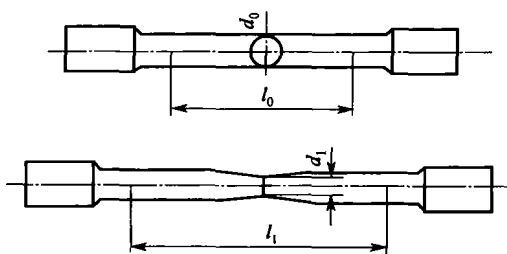


图 1-1 拉伸试样示意图

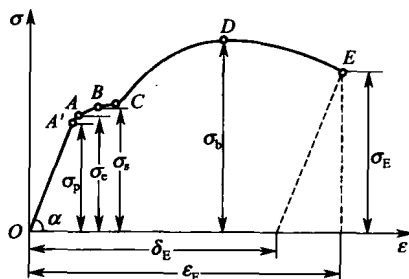


图 1-2 低碳钢的应力-应变曲线

二、强度

1. 屈服强度

材料在外力作用下发生塑性变形的最小应力称为屈服强度。在图 1-2 中,应力超过 B 点后,材料将发生塑性变形。在 BC 段,负荷不增加而应变仍在增大,这种现象称为屈服。B 点所对应的应力就是屈服强度,用 σ_s 表示。对于无明显屈服现象的材料,则规定以拉伸时产生 0.2% 残余应变量时的应力值作为屈服强度,即条件屈服强度,记作 $\sigma_{0.2}$ 。 σ_s 和 $\sigma_{0.2}$ 是机械零件设计和选材的重要依据。

2. 抗拉强度

抗拉强度反映材料产生最大均匀变形的抗力,是工程上最重要的力学性能指标之一。图 1-2 中,CD 段为均匀塑性变形阶段,在这一阶段,应力随应变增加而增加,即产生应变强化。超过 D 点后,试样开始发生局部塑性变形,即出现颈缩,随着应变增加,应力明显下降,并迅速在 E 点断裂。D 点所对应的应力为材料断裂前所承受的最大应力,称为抗拉强度,用 σ_b 表示,单位为 MPa。即

$$\sigma_b = F_b / S_0$$

式中, F_b 为材料断裂前所承受的最大轴向拉力, N; S_0 为试样的横截面积, mm^2 。

三、塑性

塑性是指材料在外力作用下破坏前可承受最大塑性变形的能力。常用的塑性指标有断后伸长率和断面收缩率。

1. 断后伸长率 δ

断后伸长率是指拉断后试样标距的伸长与原始标距之比的百分率。即

$$\delta = (L_1 - L_0) / L_0 \times 100\%$$

式中, L_0 为原始标距, mm; L_1 为断后标距, mm。

2. 断面收缩率 ψ

断面收缩率是指断后试样横截面积最大缩减量与原始横截面积之比的百分率。即

$$\psi = (S_0 - S_1) / S_0 \times 100\%$$

式中, S_1 为试样断裂处的最小横截面积, mm^2 。

金属材料具有一定的塑性才能进行各种变形加工。另一方面,材料具有一定塑性,可以

提高零件的使用可靠性,防止零件突然断裂破坏。

材料从变形到断裂整个过程所吸收的能量称为材料的韧性,具体地说,就是拉伸曲线与横坐标所包围的面积。

必须指出,图 1-2 所示的拉伸曲线是一种最典型的情况,并非所有的材料都具有相同类型的拉伸曲线。铝、铜及其合金的拉伸曲线没有明显的屈服“平台”;某些奥氏体钢断裂前虽产生一定量的塑性变形,但不形成颈缩;陶瓷、玻璃类材料只有弹性变形而没有明显的塑性变形;橡胶类材料弹性变形量很大,只有弹性变形而不产生或产生很微小的塑性变形;高分子材料的拉伸曲线具有多种形式。

四、硬度

硬度是指材料抵抗局部塑性变形的能力,是表征材料性能的一个参量。硬度的测定方法很多,现在多用压入法测定。根据测量方法的不同,常用的硬度指标有布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度和显微硬度等。用各种方法所测量的硬度值不能直接相比较,可以通过硬度对照表换算。

硬度试验所用设备简单,操作方便快捷,一般仅在材料表面局部区域产生很小的压痕,可对大多数成品件直接检验,无需专门加工试样。

用静载荷试验方法测试材料的机械性能时,均会使试样破坏。这种方法对已加工好的零件是不适用的,为此人们用硬度试验方法来检查零件经各种加工后的性能,而且人们在长期实践中还建立了硬度与强度的关系。

材料的硬度可理解为对物体压入的抗力,实质上硬度同样反映变形抗力。常用的硬度检查方法有布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度等。

1. 布氏硬度法

它是最古老最常用的试验方法,如图 1-3(a) 所示。在力 P 的作用下,把直径为 D 的钢球(淬火钢球或硬质合金球)压入被测物体中,布氏硬度值是载荷除以压痕的球形面积(直径为 d),用 HB 表示。

当布氏硬度机所用的压头是淬火钢球时,不能用作测试太硬的材料(如淬火件等),因材料太硬时,钢球会变形,测出的硬度不准确,故一般只能测 $<450\text{HB}$ 的材料,其硬度值以 HBS 表示;适于测定退火钢、正火钢、调质钢、铸铁及有色金属的硬度。布氏硬度在 $450\sim650$ 之间的材料,压头用硬质合金球,其硬度值用 HBW 表示。布氏硬度的优点是测量误差小,数据稳定;缺点是压痕大,不能用于太薄件或成品件。

2. 洛氏硬度法

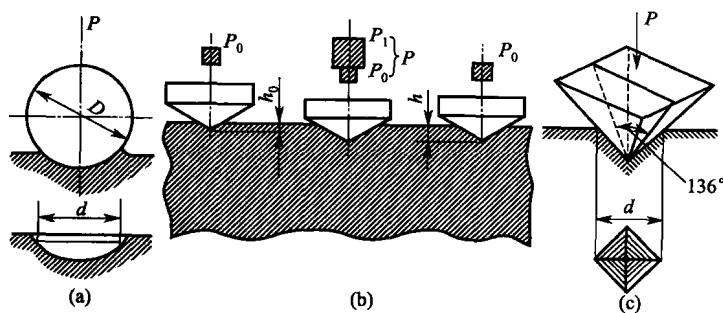


图 1-3 硬度试验示意图

如图 1-3(b) 所示, 它使用的压头是金刚石圆锥体, 有时是小钢球。洛氏硬度值是压入深度 (h) 的倒数。洛氏硬度常用的有三个标尺。试验用压头为金刚石圆锥体, 载荷 $P=1500\text{N}$ 时, 得到的硬度用 HRC 表示。压头用金刚石圆锥体, 载荷 $P=600\text{N}$ 时, 得到的硬度用 HRA 表示。用钢球做压头, 载荷 $P=1000\text{N}$ 时, 得到的硬度用 HRB 表示。洛氏硬度值表示方法如下: 符号 HR 前面的数字表示硬度值, HR 后加的字母表示不同洛氏硬度的标尺。例如 45HRC 表示用 C 标尺测量的洛氏硬度值为 45。

上列三种洛氏硬度, 以 HRC 最为常用, 淬火件常用洛氏硬度测定, 但不宜用来测定硬而脆的薄层零件, 如渗碳层、氮化层及氰化层等, 因硬脆薄层容易被压头压穿, 测得的硬度值不准。洛氏硬度的优点是操作简便、压痕小、适用范围广; 缺点是测量结果分散度大。

3. 维氏硬度法

如图 1-3 (c) 所示, 它的压头是金刚石四棱锥体, 测量出压痕的对角线 d 后, 查表或算出方锥压痕表面积除载荷 P 的值即为硬度, 并用 HV 表示。

由于维氏硬度机压头是金刚石四角锥体, 所用载荷较小, 可以根据工件硬化层的厚薄, 任意选择载荷大小, 所以硬薄层工件常用维氏硬度测定, 而且维氏硬度可以测定从软到硬的各种工程材料。

五、冲击韧性

许多零部件和工具在服役时要受到冲击载荷的作用, 冲击载荷就是以很大的速度作用于工件上的载荷。在评价材料时, 不能单用在静载荷作用下的指标来衡量, 还必须考虑材料抵抗冲击载荷的能力。材料抵抗冲击载荷而不破坏的能力称为冲击韧性, 以在冲击力作用下材料破坏时单位面积所吸收的能量 a_k 表示。在图 1-4 所示的摆锤式冲击实验机上, 用规定高度的摆锤对处于简支梁状态的缺口试样进行一次冲断, 可测得冲击吸收功, 从试验机上直接读出, 用 A_k 表示。冲击吸收功与试样缺口处的截面积之比称为冲击韧性值, 用 a_k 表示。

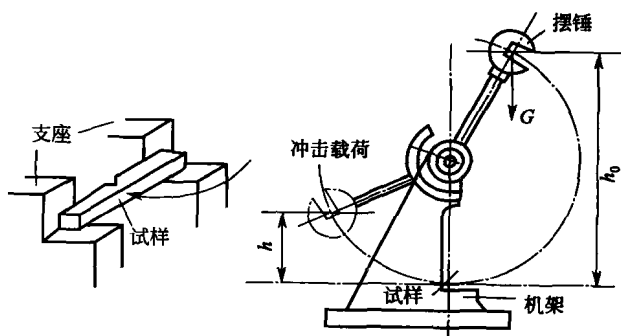


图 1-4 冲击实验示意图

实践表明, 冲击韧性对材料的一些缺陷很敏感, 能够灵敏地反映出材料品质、宏观缺陷和显微组织方面的微小变化, 因而是生产上用来检验冶炼、热加工得到的半成品和成品质量的有效方法之一。

六、疲劳

实际工作中的构件常常是在交变载荷的作用下。所谓交变载荷, 是指大小或方向随时间而变化的载荷。在这种载荷的作用下, 材料常常在远低于其屈服强度的应力下发生断裂, 这种现象称为疲劳, 如发动机的轴、齿轮等均受交变载荷作用。实际服役的金属材料有 90% 是因为疲劳而破坏。疲劳破坏是脆性破坏, 它的一个重要特点是具有突发性, 因而更具灾

难性。

材料承受的交变应力 σ 与断裂时应力循环次数 N 之间的关系可用疲劳曲线来描述（见图 1-5）。随 σ 下降， N 值增加，材料经无数次应力循环后仍不发生断裂时的最大应力称为疲劳极限。对于对称循环交变应力的疲劳极限用 σ_{-1} 表示。实际上，作无限次应力循环的疲劳试验是不可能的，对于钢铁材料，一般规定疲劳极限对应的应力循环次数为 10^7 ，有色金属为 10^8 。

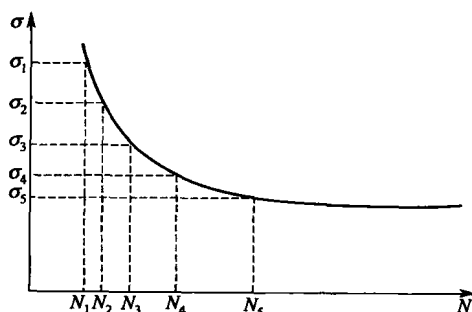


图 1-5 材料的疲劳曲线

提高零件的疲劳抗力，除应合理选材外，还应注意其结构形状，避免应力集中，减少缺陷，降低表面粗糙度和进行表面强化等。

七、断裂韧性

工程上有时会出现材料在远低于 σ_b 的情况下发生断裂的现象。如 1943 年 1 月美国一艘 T-2 油船停泊在装货码头时断成两半，计算的甲板应力为 7kgf/mm^2 ，远低于 σ_b ($30 \sim 40\text{kgf/mm}^2$)。美国北极星导弹固体燃料发动机壳体在实验时发生爆炸，经过研究，发现破坏的原因是材料中存在 $0.1 \sim 1\text{mm}$ 的裂纹并扩展所致。

断裂力学认为，材料中存在缺陷是绝对的，常见的缺陷是裂纹。在应力作用下，这些裂纹将发生扩展，一旦扩展失稳，便会发生低应力脆性断裂。材料抵抗内部裂纹失稳扩展的能力，称为断裂韧性。

由于裂纹的存在，在外力作用下，裂纹尖端会产生应力集中。为了表征裂纹尖端附近应力场强度的强弱，引入应力场强度因子 K_I ：

$$K_I = Y\sigma\sqrt{a}$$

式中， Y 是与裂纹形状、加载方式及试样几何尺寸有关的系数，可查手册得到； σ 为名义工作应力， MPa ； a 为裂纹的半长， m 。 K_I 值越大，表明裂纹尖端的应力场越强。当 K_I 值增大到某一临界值 K_{IC} 时，零件内部裂纹将发生失稳扩展而发生断裂。这个 K_I 的临界值 K_{IC} 就称为断裂韧性，常用的工程材料中，金属材料的断裂韧性最高，高分子材料和陶瓷的断裂韧性最低。

第三节 机械工程材料的其他性能

材料的物理、化学性能虽然不是结构件设计的主要参数，但在某些特定情况下却是必须加以考虑的因素。

选择材料时，不仅要考虑其使用性能，还要考虑其工艺性能。如果所选用的材料制备工

艺复杂或难以加工,必然带来生产成本提高或材料无法使用的后果。材料种类的不同,其加工工艺也大不相同。金属材料是机械工业中使用最多的材料,其工艺性能主要包括铸造性能、压力加工性能、切削加工性能、焊接性能和热处理性能等。

一、物理性能

1. 密度

单位体积材料的质量称为材料的密度。对于运动构件,材料的密度越小,消耗的能量越少,效率越高。材料的抗拉强度与密度之比称为比强度。密度小于 4.5g/cm^3 的金属称为轻金属,如铝、镁、钛及它们的合金;密度大于 4.5g/cm^3 的金属称为重金属,如铁、钨、铅等。

2. 熔点

金属从固态向液态转变时的温度称为熔点。一般来说,材料的熔点越高,在高温下保持高强度的能力越强;在设计高温条件下工作的构件时,需要考虑材料的熔点。熔点高的金属称为难熔金属,如钨、钼、钽等,一般制造高温零件;熔点低的金属称为易熔金属,如锡、铅等,常用于制造熔丝、安全阀等零件。

3. 导热性

材料的导热性常用热导率表示。热导率指单位温度梯度下,单位时间内通过垂直于热流方向单位面积上的热流量,单位为 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。材料的热导率愈大,导热性愈好。材料的导热性越差,在加热和冷却时表面和内部的温差越大,内应力越大,越容易发生变形和开裂。在热加工和热处理时,必须考虑导热性。金属中,导热性最好的是银,铜和铝次之。合金的导热性比纯金属差。

4. 导电性

材料的导电性与材料的电阻密切相关,常用电导率表示。电导率愈大,金属材料的导电性愈好。金属通常具有较好的导电性,其中最好的是银,铜和铝次之。金属具有正的电阻温度系数,即随温度升高,电阻增大。合金的导电性比纯金属差。含有杂质或受到冷变形会导致金属的电阻上升。电导率大的金属,适于制造导电零件;电导率小的金属,适于制作电热元件。

5. 热膨胀性

金属材料随温度变化而膨胀、收缩的特性称为热膨胀性。材料的热膨胀性通常用线胀系数表示,它是指温度升高 1°C 时单位长度材料的伸长量。对于特别精密的仪器,应选择热膨胀系数低的材料,或在恒温条件下使用。在材料热加工过程中,更要考虑其热膨胀行为。如果材料表面和内部热膨胀不一致,就会产生内应力,导致材料变形或开裂。

6. 磁性

根据材料在磁场中的行为可将其分为三类:能抗拒或削弱外磁场对材料的磁化作用的材料称为抗磁性材料,如铜、锌等;在外磁场中只能微弱地被磁化的材料称为顺磁性材料,如锰、铬等;在外磁场中能强烈地被磁化的材料称为铁磁性材料,如铁、钴等。铁磁性材料常用于制造变压器、电动机、仪器仪表等,抗磁性材料常用做磁屏蔽或防磁场干扰材料。当温度升高到一定数值时,铁磁材料的磁畴被破坏,变为顺磁材料,这个温度称为居里点,铁的居里点为 770°C 。

二、材料的化学性能

1. 耐腐蚀性

金属材料在常温下抵抗氧、水蒸气及其他化学介质腐蚀破坏的能力称为耐腐蚀性。一般

来说, 非金属材料的耐腐蚀性要高于金属材料。在金属材料中, 碳钢、铸铁的耐腐蚀性较差, 而不锈钢、铝合金、铜合金、钛及其合金的耐腐蚀性较好。

2. 抗氧化性

材料抵抗高温氧化的能力称为抗氧化性。抗氧化的金属材料常在表面形成保护性氧化膜, 阻碍氧的进一步扩散。一般加入铬、硅、铝可提高抗氧化能力。耐腐蚀性和抗氧化性统称为材料的化学稳定性。高温下的化学稳定性称为热化学稳定性。在高温下工作的设备或零部件, 如锅炉、汽轮机和飞机发动机等, 应选择热化学稳定性高的材料。

三、材料的工艺性能

1. 铸造性能

铸造性能是指浇注时, 液体金属充满比较复杂的铸型并获得优质铸件的能力, 包括流动性、收缩性和偏析等。对于需要铸造成形的零件, 要求其材料具有良好的铸造性能。流动性好、易形成集中缩孔、偏析小等是铸造性能好的标志。

2. 锻压性能

锻压性能是指金属易于锻压成形、不形成裂纹的能力。锻造不仅可使组织更加均匀致密, 也可初步形成与最终形状基本接近的毛坯。许多零件需要进行锻压成形。锻压性能主要取决于金属的塑性和变形抗力, 塑性越好, 变形抗力越小, 金属的锻造性能越好。

3. 焊接性能

很多工程构件需要焊接成形。焊接性能是指材料易于被焊接到一起并获得优质焊缝的能力。在机械工业中, 焊接的主要对象是钢材。碳和合金元素的含量是决定金属焊接性能的主要因素, 含碳量越低, 可焊性越好; 合金元素含量高, 焊接性能差。

4. 切削加工性能

工程零部件多数需要加工成形。切削加工性能指材料容易被加工成形并得到精确的形状和高质量的表面粗糙度的能力, 与材料硬度、韧性等性能有关, 一般用切削速度、加工表面粗糙度、刀具使用寿命来衡量。灰铸铁的加工性能好, 碳钢比高合金钢的切削加工性能好。

5. 热处理性能

热处理是通过加热、保温和冷却, 改变组织结构, 从而获得所需性能的一种工艺, 热处理性能与材料的化学成分有关。常用的热处理方法有退火、正火、淬火、回火及表面热处理等。

本章小结

机械工程材料的分类: 按其化学组成可分为金属材料、高聚物材料(高分子材料)、无机非金属材料(即陶瓷材料, 简称无机材料)和复合材料四大类。按其使用性能可分为结构材料和功能材料。

机械工程材料的性能通常可分为两类: 使用性能和工艺性能。使用性能是指机械零件在正常工作情况下应具备的性能, 包括机械性能和物理、化学性能等; 材料的机械性能是指材料在各种形式的外力作用下, 抵抗变形和断裂的能力; 衡量材料机械性能的主要指标有强度、塑性、硬度、疲劳强度、冲击韧性和断裂韧性等, 这是本章学习内容的重点。工艺性能是指机械零件在冷、热加工的制造过程中应具备的性能, 它包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理和切削加工性能等。

习题与思考题

- 1-1 什么叫力学性能？金属材料的力学性能包含哪些方面？
- 1-2 什么叫强度？在拉伸试验中可测得哪两个强度指标？
- 1-3 什么是硬度？指出测定金属硬度的常用方法和它们的优缺点。
- 1-4 下列各种工件应该采用何种硬度试验方法来测定硬度：锉刀、黄铜轴套、供应状态的各种非合金钢钢材、硬质合金刀片、耐磨工件的表面硬化层、调质态的机床主轴。
- 1-5 什么是塑性？塑性的衡量指标是什么？
- 1-6 全面说明材料的强度、硬度、塑性、韧性之间的辩证关系。
- 1-7 工程材料有哪些物理性能和化学性能？
- 1-8 什么是材料的工艺性能？
- 1-9 有一低碳钢拉伸试样， $d_0 = 10\text{mm}$ ， $L_0 = 50\text{mm}$ ，拉伸试验时测得 $F_s = 20.5\text{kN}$ ， $F_b = 31.5\text{kN}$ ， $d_1 = 6.25\text{mm}$ ， $L_1 = 66\text{mm}$ ，试确定此钢材的 σ_s 、 σ_b 、 ψ 、 δ 。