



普通高等教育机械类应用型人才及卓越工程师培养规划教材

工程材料 及其应用

◎ 孙志平 曹 芳 高 进 主 编
◎ 肖光春 许崇海 肖光春 副主编
◎ 许崇海 许崇海 副主编

➤ 以培养理论
结合实际和创新
能力为核心，以
金属材料为重点

➤ 兼顾非金属
及新型材料、零
件选材与失效、
工程材料的应用

➤ 对重要的知识
点，书中采用问答
或重点标注的方式
予以提示



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育机械类应用型人才及卓越工程师培养规划教材

工程材料及其应用

高 进 主 编
孙志平 曹 芳 肖光春 副主编
许崇海 主 审

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是为了适应 21 世纪高等教育教学改革形势发展需要而编写的, 以培养学生的理论结合实际和创新能力为核心, 以金属材料为重点, 着重介绍了金属材料及热处理的基础知识, 同时介绍了常用的非金属材料 and 新型材料、机械零件选材与失效分析以及工程材料在生产中的应用。本书理论与实践密切结合, 内容广泛新颖, 除了介绍工程材料和热处理的基础知识, 还增加了工程材料应用的相关知识。

本书可作为普通高等院校机械类或与机械类相关专业的教学用书及对应专业成人高等教育的教学用书, 也可作为一般从事机械、船舶、车辆、动力、电力等装置设计、制造及质量控制方面的工程技术人员的参考用书。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容
版权所有, 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

工程材料及其应用/高进主编. —北京: 电子工业出版社, 2015.1

(普通高等教育机械类应用型人才及卓越工程师培养规划教材)

ISBN 978-7-121-25103-0

I. ①工… II. ①高… III. ①工程材料—高等学校—教材 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 292678 号

策划编辑: 郭穗娟

责任编辑: 陈韦凯

印 刷: 三河市华成印务有限公司

装 订: 三河市华成印务有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787mm×1 092mm 1/16 印张: 13.25 字数: 340 千字

版 次: 2015 年 1 月第 1 版

印 次: 2015 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 42.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zits@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010)88258888。

《普通高等教育机械类应用型人才及卓越工程师培养规划教材》

专家编审委员会

主任委员 黄传真

副主任委员 许崇海 张德勤 魏绍亮 朱林森

委员 (排名不分先后)

李养良 高 荣 刘良文 郭宏亮 刘 军

史岩彬 张玉伟 王 毅 杨玉璋 赵润平

张建国 张 静 张永清 包春江 于文强

李西兵 刘元朋 褚 忠 庄宿涛 惠鸿忠

康宝来 宫建红 宁淑荣 许树勤 马言召

沈洪雷 陈 原 安虎平 赵建琴 高 进

王国星 张铁军 马明亮 张丽丽 楚晓华

魏列江 关跃奇 沈 浩 鲁 杰 胡启国

陈树海 王宗彦 刘占军 刘仕平 姚林娜

李长河 杨建军 刘琨明

前 言

为了适应 21 世纪高等教育教学改革形势发展的需要,我国高等教育的人才培养模式正在逐步改变,改革的重点是加强大学生的工程实践创新能力的培养,努力形成理论知识、实践能力和创新思维并重的综合培养方式。为了达到这个目的,齐鲁工业大学的广大教师身体力行,积极参加教学研究和改革,在改革中发现问题、提出问题,再通过研究和实践解决问题。本书就是编者结合大工程背景下机械制造学科的发展趋势与高等教育的改革现状,以国家教育部本科课程改革指南为方向,以科学性、先进性、系统性和实用性为目标编写而成的,是编者教学改革成果的总结和结晶。

本书以金属材料为重点,着重介绍了金属材料及热处理的基础知识,同时介绍了常用的非金属材料 and 新型材料、机械零件选材与失效分析,以及工程材料在生产中的应用。全书分为三篇共 9 章,主要内容包括材料的结构与性能、金属材料的组织与性能改变、金属材料、高分子材料、陶瓷材料、复合材料、其他工程材料、典型零件的选材和工程材料的应用实例。

本书理论与实践密切结合,内容广泛新颖,除介绍工程材料和热处理的基础知识之外,还增加了工程材料应用的相关知识。在文字处理上,对各种知识点进行必要的理论叙述,文字简练、条理清楚、图文并茂、内容详细生动。对于每一个重要的知识点,书中采用问答或重点标注的方式予以提示,加强学生的关注度和提示记忆要点。每章后都对本章的重点内容进行总结,还附有相应的复习思考题,以便学生复习与巩固所学知识。本书可作为普通高等院校机械类或与机械类相关专业的教学用书及对应专业成人高等教育的教学用书,也可作为一般从事机械、船舶、车辆、动力、电力等装置设计、制造及质量控制方面的工程技术人员的参考用书。

本书由高进担任主编并统稿,孙志平、曹芳、肖光春担任副主编。编写分工如下:第 1 章由曹芳编写,第 2 章由曹芳、高进和刘宏编写,第 3 章由孙志平编写,第 4~7 章由王晓丽编写,第 8 章由肖光春编写,第 9 章由姜少宁编写,许崇海教授对本书进行了审阅。

尽管编者为本书付出了心血和努力,但仍存在疏漏和欠妥之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2015 年 1 月

目 录

绪论	1
----	---

第一篇 工程材料的基本理论

第 1 章 材料的结构与性能	4
1.1 材料的性能	4
1.1.1 静载时材料的力学性能	4
1.1.2 其他载荷作用下材料的力学性能	9
1.1.3 材料的高、低温力学性能	11
1.2 材料的结合方式及工程材料的键性	12
1.2.1 材料的结合方式	13
1.2.2 工程材料的键性	14
1.3 工程材料测试分析技术	14
本章小结	18
习题与思考题	19
第 2 章 金属材料的组织与性能改变	20
2.1 金属与合金的晶体结构	20
2.1.1 金属的理想晶体结构	20
2.1.2 金属的实际晶体结构	22
2.1.3 合金的晶体结构	24
2.2 纯金属的结晶	25
2.2.1 纯金属的冷却曲线和过冷现象	25
2.2.2 纯金属的结晶过程	26
2.2.3 金属晶粒大小及控制	26
2.3 合金的结晶	27
2.3.1 二元合金相图的基本知识	27
2.3.2 二元匀晶相图	29
2.3.3 二元共晶相图	30
2.3.4 合金性能与相图的关系	32
2.3.5 铁碳合金相图	34
2.4 金属的塑性变形	43
2.4.1 金属的塑性变形	43
2.4.2 塑性变形后金属的组织 and 性能	45
2.4.3 金属的塑性成形	46
2.5 钢的热处理	49
2.5.1 钢在加热时的转变	50

2.5.2 钢在冷却时的转变.....	52
2.5.3 钢的普通热处理.....	55
2.5.4 钢的表面淬火.....	60
2.5.5 钢的化学热处理.....	62
2.5.6 钢的表面改性技术.....	65
本章小结.....	67
习题与思考题.....	68

第二篇 常用工程材料及其应用

第3章 金属材料	70
3.1 工业用钢.....	70
3.1.1 钢的分类与编号.....	70
3.1.2 钢中常存杂质与合金元素.....	74
3.1.3 结构钢.....	78
3.1.4 工具钢.....	94
3.1.5 特殊性能钢.....	100
3.2 铸铁.....	107
3.2.1 铸铁的石墨化.....	107
3.2.2 灰铸铁.....	110
3.2.3 球墨铸铁.....	112
3.2.4 蠕墨铸铁.....	114
3.2.5 可锻铸铁.....	115
3.3 有色金属及其合金.....	116
3.3.1 铝及铝合金.....	117
3.3.2 铜及铜合金.....	123
3.3.3 镁及镁合金.....	129
3.3.4 钛及钛合金.....	131
3.3.5 其他有色金属及其合金.....	132
本章小结.....	135
习题与思考题.....	138
第4章 高分子材料	140
4.1 工程塑料.....	140
4.2 橡胶与合成纤维.....	143
4.2.1 橡胶.....	143
4.2.2 合成纤维.....	144
4.3 合成胶黏剂和涂料.....	145
4.3.1 合成胶黏剂.....	145
4.3.2 涂料.....	146
本章小结.....	147
习题与思考题.....	148

第 5 章 陶瓷材料	149
5.1 概述	149
5.1.1 陶瓷材料的概念	149
5.1.2 陶瓷的分类	149
5.1.3 陶瓷的性能	150
5.2 常用工程结构陶瓷材料	150
5.2.1 普通陶瓷	150
5.2.2 特种陶瓷	150
5.3 金属陶瓷	153
本章小结	154
习题与思考题	154
第 6 章 复合材料	155
6.1 概述	155
6.1.1 复合材料的概念	155
6.1.2 复合材料的分类	155
6.2 复合材料的增强机制及性能	157
6.2.1 复合材料的增强机制	157
6.2.2 复合材料的性能	158
6.3 常用复合材料	158
6.3.1 金属基复合材料	158
6.3.2 无机非金属基复合材料	160
6.3.3 聚合物基复合材料	161
本章小结	162
习题与思考题	162
第 7 章 其他工程材料	163
7.1 功能材料	163
7.1.1 功能材料的概念	163
7.1.2 功能材料的分类	163
7.2 纳米材料	167
7.2.1 纳米材料的概念	167
7.2.2 纳米材料的性能特点	168
7.2.3 纳米材料的应用	169
本章小结	170
习题与思考题	170

第三篇 机械零件的选材及工程材料的应用

第 8 章 典型零件的选材	171
8.1 零件的失效形式与分析方法	171
8.1.1 零件的失效	171
8.1.2 零件失效的分析方法	175

8.2 选材的一般原则	180
8.2.1 选材的一般原则	180
8.2.2 零件材料选择的步骤	184
8.3 典型零件的选材及工艺路线设计	184
8.3.1 轴类零件的选材	184
8.3.2 齿轮类零件的选材	187
8.3.3 弹簧类零件的选材	190
本章小结	193
习题与思考题	194
第9章 工程材料的应用实例	195
9.1 汽车材料的应用	195
9.1.1 汽车用金属材料	195
9.1.2 汽车用非金属材料	196
9.2 机床材料的应用	197
9.3 仪器仪表用材	198
9.4 热能设备用材	198
9.4.1 锅炉设备用钢	198
9.4.2 汽轮机用钢	199
9.5 化工设备用材	199
9.5.1 化工设备用金属材料	200
9.5.2 化工设备用非金属材料	200
9.6 航空航天器用材	201
本章小结	203
习题与思考题	203
参考文献	204

绪 论

20 世纪 70 年代人们把信息、材料和能源誉为当代文明的三大支柱。20 世纪 80 年代以高技术群为代表的新技术革命，又把新材料、信息技术和生物技术并列为新技术革命的重要标志。这主要就是因为材料与国民经济建设、国防建设和人民生活密切相关。不断开发和使用材料的能力是一个社会发展的基础，先进的材料和工艺方法已经成为改善人类生活质量，提高工业生产率以及促进经济进步的基本要求，材料也成为处理诸如环境污染、自然资源的不断减少以及价格膨胀等一些紧迫问题的工具。

1. 材料的发展

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。人类一出现就开始使用材料，材料的历史与人类的历史一样久远。人类为了生存和生产，总是不断地探索、寻找制造生产工具的材料，材料是人类进化的标志之一。在人类历史中，技术上的重大突破都是与新材料的发展及加工相联系的，任何工程技术都离不开材料的设计和制造工艺。例如，没有专门为喷气发动机设计的材料，就没有靠飞机旅行的今天；没有固体微电子设备，就没有广泛使用的计算机。一种新材料的出现，必将支持和促进当时文明的发展和技术的进步，从而把人类社会和物质文明推向一个新的阶段。在人类文明的进程中，可以根据人类使用的材料，划分出旧石器时代、新石器时代、青铜器时代和铁器时代。当今，人类正跨入人工合成材料和复合材料的新时代。

在人类的发展史上，我们的祖先有过辉煌的成就，对材料的发展作出了重大的贡献。二三百萬年前，最先使用的工具是石器，他们用坚硬的容易纵裂成薄片的燧石和石英石等天然材料制成石刀、石斧和石锄。到了新石器时代（公元前 6000 年~公元前 5000 年），中华民族的祖先们用黏土（主要成分为 SiO_2 和 Al_2O_3 ）烧制成陶器，东汉时期又发明了瓷器，并于公元 9 世纪传到非洲东部和阿拉伯国家，公元 13 世纪传到日本，公元 15 世纪传到欧洲。瓷器成为中国文化的象征，对世界文明产生了极大的影响。早在 4000 年前，我们的祖先已经开始使用天然存在的红铜，自夏朝起我国开始青铜的冶炼，到殷、西周时期已发展到很高的水平，形成了灿烂的青铜文化。当时青铜主要用于制造各种工具、食器和兵器。在河南省安阳市出土的重达 875 kg 的司母戊鼎，其器型高大厚重、花纹精巧、造型精美、工艺高超，因其鼎内部铸有“司母戊”三字而得名，是商朝青铜器的代表作，也是目前世界上发现的最大的青铜器；湖北江陵楚墓中发现的埋藏了 2000 多年的越王勾践的宝剑，锋芒犀利，寒光闪闪，出土时插在漆木鞘里，保存如新，至今尤能断发，经分析测定，剑脊含锡低（10%），韧性好而不易折断，刃部含锡高（20%），刚而锋利，这种复合金属制造技术其他国家直到近代才掌握，这些都说明我国当时已具备高超的冶炼技术和艺术造诣。公元前 7 世纪至公元前 6 世纪的春秋战国时期，我国开始大量使用铁器，白口铸铁、麻口铸铁和可锻铸铁相继出现，比欧洲国家早 1800 多年，如河北武安出土的战国期间的铁锄，经金相检验证明，该材料就是先进的可锻铸铁；从兴隆战国铁器遗址中发掘出的浇铸农具用的铁模，说明冶铸技术已由泥砂造型水平进入铁模铸造的高级阶段。到了西汉时期，炼铁

技术有很大的提高,采用煤作为炼铁的燃料,比欧洲早 1700 多年,在河南巩县汉代冶铁遗址中,发掘出了 20 多座冶铁炉和锻炉,炉型庞大,结构复杂,并有鼓风装置和铸造坑,生产规模壮观。

许多史书和出土文物证明,早在 2000 多年以前,我国就开始采用热处理技术来提高钢铁材料的性能。西汉《史记·天官书》中有“水与火合为淬”一说,正确地说出了钢铁加热、水冷的淬火热处理工艺要点;《汉书·王褒传》中记载有“巧冶铸干将之朴,清水淬其锋”的制剑技术,热处理技术已具有相当高的水平;明代科学家宋应星在《天工开物》一书中对钢铁的退火、淬火、渗碳工艺,以及冶铁、铸钟、锻铁、焊接等多种金属成形及改性方法和日用品的生产经验进行了详细的论述,并附有 123 幅工艺流程插图,是世界上有关金属加工工艺最早的科学论著之一。

但是,到 18 世纪以后,由于长期的封建统治和闭关锁国,以及上百年来帝国主义的侵略和压迫,我国科学技术的发展受到了严重的束缚,在新中国成立之初,与世界主要资本主义国家相比,中国工业要落后 100 余年!

新中国成立后,在工农业生产迅速发展的同时,作为物质基础的材料工业也得到了高速发展,取得了举世瞩目的成就。1949 年全国钢产量只有 15.8 万吨,不到世界钢产量的千分之一。1996 年我国钢产量首次超过 1 亿吨,成为世界第一产钢大国。2008 年粗钢产量突破 5 亿吨,占全球产量的近 40%。2005 年结束了我国净进口钢的历史。20 世纪 90 年代以来,国家又相继提出重点加强能源原材料等基础产业,振兴机械、电子、汽车等支柱产业,加快振兴装备制造业的战略构想。目前,我国钢铁产业规模快速扩大,产品品种优化,质量明显改善;技术装备水平大幅提升,装备国产化率显著提高,中国钢铁业在世界钢铁业已具有举足轻重的地位。有色金属产量实现了持续增长,2008 年 10 种有色金属产量为 2519 万吨,连续 7 年居世界第一。我国是世界最大的稀土资源生产、应用和出口国,在国际市场上处于支配和主导地位,我国稀土矿产品产量 12.5 万吨,冶炼分离产品、稀土永磁材料、发光材料、储氢材料均居世界第一位。近年来,我国取得了载人航天、月球探测工程等伟大成就,CPU 等芯片的研发取得了突破,高性能计算机和服务器的开发获得了成功,工业产品质量总体水平跃上了一个新台阶,机械工业主要产品中有 35%~40%的产品质量已经接近或达到国际先进水平,基础元器件和高新技术产品与国际先进水平的差距不断缩小,这些成果的产生都是与材料科学与工程技术的支撑分不开的。随着近代科学技术的发展,对工程材料的要求也越来越高,因此作为工程技术人员,应掌握更加广泛的工程材料的知识。

2. 工程材料的分类

1) 根据材料的物理化学属性分类

根据材料的物理化学属性来分类,工程材料可分为金属材料、非金属材料 and 复合材料。

(1) 金属材料

由于金属材料不仅来源丰富,而且还具有优良的使用性能和工艺性能,因此是目前应用最广泛的工程材料。金属材料又可以分为如下两类。

① 黑色金属。黑色金属是指铁和以铁为基的合金材料,即钢铁材料,包括铸铁、碳钢和合金钢。

② 有色金属。有色金属是指除黑色金属以外的所有金属及其合金材料,包括轻有色金属(如铝、镁等)、重有色金属(如铜、铅等)、稀有金属及稀土等。

(2) 非金属材料

非金属材料近几十年来发展很快。目前,非金属材料不仅用来制造人们的生活用品,而且在工业生产中已经代替了部分金属材料,成为具有广泛发展前景的材料。非金属材料包括高分子材料和陶瓷材料两大类。

① 高分子材料。高分子材料是以高分子化合物为主要组分的材料。机械工程中使用的高分子材料主要是由人工合成的有机高分子聚合物,包括塑料、合成橡胶、合成纤维等。

② 陶瓷材料。陶瓷材料按照原料不同可以分为普通陶瓷(即传统的硅酸盐陶瓷,如玻璃、水泥、陶瓷及耐火材料等)和特种陶瓷(即新型陶瓷,除 SiO_2 之外的其他氧化物、碳化物、氮化物等材料)。

(3) 复合材料。

复合材料是一种新型的、具有很大发展前途的工程材料,它是由两种或两种以上不同化学成分或不同组织结构的物质,经人工合成获得的多相材料。

2) 根据用途分类

根据用途来分类,工程材料可分为建筑工程材料、船舶工程材料、桥梁工程材料等。

3) 根据性能要求分类

根据性能要求来分类,工程材料可分为结构材料与功能材料。

① 结构材料。结构材料是以力学性能为基础,用于制造受力构件所用的材料。当然,结构材料对物理或化学性能也有一定要求,如光泽、热导率、抗辐照、抗腐蚀、抗氧化等。

② 功能材料。功能材料主要是利用物质的独特物理、化学性质或生物功能等而形成的一类材料。

一种材料往往既是结构材料又是功能材料,如铁、铜、铝等。

4) 根据材料使用时间分类

根据材料使用时间来分类,工程材料可分为传统材料与新型材料。

① 传统材料。传统材料是指那些已经成熟且在工业中已批量生产并大量应用的材料,如钢铁、水泥、塑料等。这类材料由于其用量大、产值高、涉及面广,又是很多支柱产业的基础,所以又称为基础材料。

② 新型材料(先进材料)。新型材料是指那些正在发展的且具有优异性能和应用前景的一类材料。

新型材料与传统材料之间并没有明显的界限。传统材料通过采用新技术,提高技术含量,提高性能,大幅度增加附加值也有可能成为新型材料;新材料在经过长期生产与应用之后也会成为传统材料。传统材料是发展新材料和高技术的基础,而新型材料又往往能推动传统材料进一步的发展。

第一篇 工程材料的基本理论

第1章 材料的结构与性能

1.1 材料的性能

【小小疑问】各种各样的材料那么多,用的时候怎么选取?到底能不能用?有什么依据?

【问题解答】选用的依据是性能!只要能满足性能要求就可以选用。

在机械制造中,一般机械零件是在常温、常压下使用。但有一些机械零件却要在高温、高压和腐蚀介质中使用,如化工机械,石油机械和锅炉中的容器、管道等。生产者往往需要根据零件不同的使用要求,确定采用不同性能的材料。

工程材料的常用性能可分为两类: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,能保证安全、可靠工作所应具备的性能,包括材料的力学性能和物理、化学性能等。工艺性能是指机械零件在冷、热加工制造过程中应具备的性能,它包括加工性能(切削性能、锻造性能等)、铸造性能、焊接性能和热处理性能。这些性能的好坏直接关系到材料在冷、热加工过程中的难易程度、制件的质量和成本。使用性能决定了材料的使用范围和寿命,对绝大多数工程材料来讲,其力学性能是最重要的使用性能。

力学性能是金属材料在各种形式的力的作用下所表现出的特性,显示了材料抵抗外力的能力,即金属抵抗外加载荷引起的变形和断裂的能力。

材料的力学性能是在实验室内利用不同的试验方法来确定的。衡量材料力学性能的主要指标有强度、塑性、刚度、弹性、硬度、疲劳强度、冲击韧性、断裂韧度和耐磨性等。

1.1.1 静载时材料的力学性能

单向静拉伸试验是工业上应用最广泛的金属力学性能试验方法之一。通过对标准的光滑圆柱试样拉伸试验可以测定金属材料的最基本力学性能指标,如强度、刚度、弹性和塑性。

拉伸力-伸长曲线(简称拉伸曲线)是拉伸试验中记录力和伸长量的关系曲线。低碳钢的拉伸曲线如图1-1所示。由图可见,低碳钢试样在拉伸过程中,可以分为弹性变形、塑性变形和断裂三个阶段。 OE 段为弹性变形阶段,即去掉外力后,变形立即恢复,这种变形称为弹性变形; E 点以上为弹塑性变形阶段,当载荷超过 F_e 后,试样将进一步伸长,但此时若去除载荷,弹性变形消失,而另一部分变形被保留,即试样不能恢复到原来的尺寸,这种不能恢复的变形称为塑性变形或永久变形;当载荷达到 F_s 时,拉伸曲线出现了水平的

或锯齿形的线段, 这表明在载荷基本不变的情况下, 试样却继续变形, 这种现象称为“屈服”, 引起试样屈服的载荷称为屈服载荷; 当载荷超过 F_s 后, 外力增加不多, 试样明显伸长, 这表明试样开始产生大量塑性变形, CB 段为大量塑性变形阶段; 当载荷继续增加到某一最大值 F_b 时, 试样的局部截面缩小, 即产生缩颈现象, BK 段称为缩颈阶段, 而试样承载能力也逐渐降低, 当达到拉伸曲线上 K 点时, 试样随即断裂, F_k 为试样断裂时的载荷。

由拉伸曲线可见, 断裂时试样总伸长 Of 中, gf 是弹性变形, Og 是塑性变形, 其中, Oh 是试样产生缩颈前的均匀变形, hg 是颈部的集中变形。

低碳钢断裂前会产生明显的塑性变形, 发生的断裂称为韧性断裂, 而某些脆性材料(如铸铁等)在尚未产生明显的塑性变形时已经断裂, 不仅没有屈服现象, 也不会产生缩颈现象, 这种断裂称为脆性断裂。

拉伸曲线上的力和伸长量不仅与试样的材料性能有关, 还与试样的尺寸有关。为了消除试样尺寸的影响, 需要采用应力-应变曲线。纵坐标以应力 σ ($\sigma =$ 拉伸力/试样原始截面积) 表示, 横坐标以应变 ε ($\varepsilon =$ 伸长量/试样原始标距) 表示, 绘出应力-应变的关系曲线, 称为应力-应变曲线。低碳钢的应力-应变曲线如图1-2 所示。

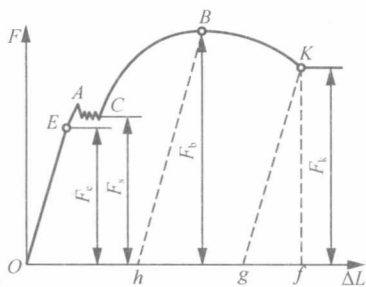


图 1-1 低碳钢的拉伸曲线

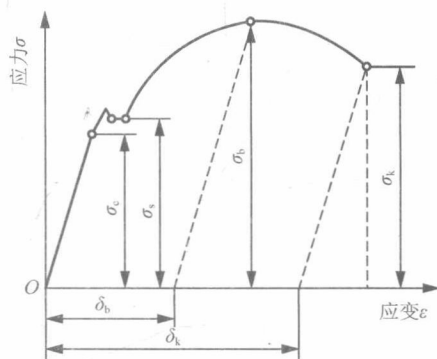


图 1-2 低碳钢的应力-应变曲线

1. 弹性和刚度

1) 弹性模量

弹性模量指材料在弹性状态下的应力与应变的比值, 用 E 表示, 单位为 MPa, 即

$$E = \sigma / \varepsilon \quad (1-1)$$

在应力-应变曲线上, 弹性模量就是试样在弹性变形阶段线段的斜率, 即引起单位弹性变形时所需的应力。它表示材料抵抗弹性变形的能力, 用以表示材料的刚度。弹性模量 E 值越大, 材料的刚度越大, 材料抵抗弹性变形的能力就越强。对于在弹性状态下进行工作的机械零件, 对其刚度都有一定的要求。弹性模量主要取决于各种材料本身的性质, 热处理、微合金化及塑性变形等对它的影响很小。提高钢铁零件刚度的办法主要为改变零件的结构形式或增加零件的横截面积。

2) 弹性极限

弹性极限是材料产生完全弹性变形时所能承受的最大应力值, 用 σ_e 表示, 单位为 MPa, 即

$$\sigma_e = F_e / A_0 \quad (1-2)$$

式中, F_e 是发生弹性变形的最大外力, A_0 是试样的原始横截面积。

弹性极限是工作中不允许有微量塑性变形零件(如精密的弹性元件、炮筒)的设计与选材的重要依据。

2. 强度

强度是指材料在静载荷作用下抵抗产生塑性变形或断裂的能力。生产中一般多以抗拉强度作为最基本的强度指标。

1) 屈服强度

屈服强度是材料开始产生明显塑性变形时的最低应力值, 用 σ_s 表示, 单位为 MPa, 即

$$\sigma_s = F_s / A_0 \quad (1-3)$$

式中, F_s 是试样发生屈服时的载荷, A_0 是试样的原始横截面积。

对于无明显屈服现象的材料(如高碳钢和某些经热处理后的钢等), 无法确定其屈服强度, 而以试样标距部分在外力去除后产生 0.2% 伸长时的应力值作为其条件屈服强度, 记为 $\sigma_{0.2}$, 即

$$\sigma_{0.2} = F_{0.2} / A_0 \quad (1-4)$$

式中, $F_{0.2}$ 是试样标距部分在外力去除后产生 0.2% 伸长时的载荷, A_0 是试样的原始横截面积。

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, 否则会引起零件精度降低或影响与其他零件的相对配合而造成失效, 所以屈服强度或条件屈服强度是零件设计时的主要依据, 也是评定材料强度的重要指标之一。

2) 抗拉强度

抗拉强度是材料在破断前所能承受的最大应力值, 用 σ_b 表示, 单位为 MPa, 即

$$\sigma_b = F_b / A_0 \quad (1-5)$$

式中, F_b 是试样在破断前所承受的最大载荷, A_0 是试样的原始横截面积。

抗拉强度表示塑性材料抵抗大量均匀塑性变形的能力。抗拉强度是零件设计时的重要依据, 也是评定金属材料的强度重要指标之一。对于脆性材料, 由于拉伸时没有明显的屈服现象, 因此这时一般用抗拉强度指标作为设计依据。

3. 塑性

塑性是指金属材料在静载荷作用下产生塑性变形而不破坏的能力。伸长率和断面收缩率是表示金属材料塑性好坏的指标。

1) 伸长率

伸长率是指试样拉断后标距增长量与原始标距长度之比, 用 δ 表示, 即

$$\delta = (L_k - L_0) / L_0 \times 100\% \quad (1-6)$$

式中, L_k 是试样断裂后的标距长度, L_0 是试样原始的标距长度。

伸长率的数值和试样标距长度有关, 随标距的增加而减小, 标准圆形试样有长试样 ($L_0 = 10d_0$) 和短试样 ($L_0 = 5d_0$) 两种, 求得的伸长率分别以 δ_{10} 和 δ_5 表示。 d_0 是试样圆截面的直径。

2) 断面收缩率

断面收缩率是指试样拉断处横截面积的缩减量与原始横截面积之比, 用 ψ 表示, 即

$$\psi = (A_0 - A_k) / A_0 \times 100\% \quad (1-7)$$

式中, A_k 是试样断裂处的最小横截面积, A_0 是试样原始的横截面积。

材料的伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 的数值越大, 则表示材料的塑性越好。材料的塑性对要求进行冷塑性变形加工的工件有着重要的作用。

4. 硬度

硬度是材料受压时抵抗局部塑性变形的能力, 是衡量金属材料软硬程度的指标。硬度试验设备简单, 操作方便、迅速, 同时又能敏感地反映出金属材料的化学成分和组织结构的差异, 因而被广泛用于检查金属材料的性能、热加工工艺的质量或研究金属组织结构的变化。硬度试验特别是压入法硬度试验, 在生产及科学研究中得到了广泛的应用。在产品的设计图纸的技术条件中, 硬度是一项主要技术指标。

测定硬度的方法很多, 生产中应用较多的有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度等试验方法。

1) 布氏硬度

布氏硬度是在布氏硬度计(如图1-3)上完成的。其试验法的原理是用一个直径为 D 的淬火钢球(或硬质合金球), 在规定载荷 F 的作用下压入被测试材料的表面(如图1-4所示), 经规定保持时间 t 后, 卸除载荷, 材料表面将残留压痕, 测量钢球(或硬质合金球)在被测试材料表面上所形成的压痕直径 d , 由此计算出压痕面积 A , 布氏硬度值(HB)就是试验力 F 除以压痕面积 A 所得的商, 其计算公式为

$$HB = F/A \quad (1-8)$$

通常, 布氏硬度值只写明硬度的数值而不标出单位。实际应用中, 一般根据测量的 d 值在相关的表中直接查出布氏硬度值。

布氏硬度试验法因为压痕面积较大, 故能反映出较大范围内被测试材料的平均硬度, 试验结果较精确, 特别是对于组织比较粗大且不均匀的材料(如铸铁、轴承合金等)的硬度测试更是有其优势。布氏硬度的测量一般用于黑色金属、有色金属入厂或出厂的原材料检验, 也可测一般退火、正火和调质后试样的硬度。

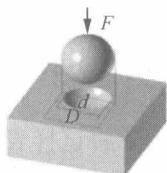
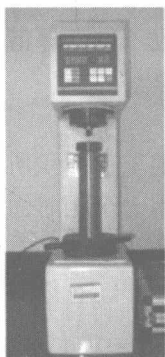


图 1-3 布氏硬度计

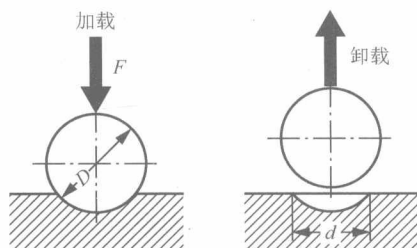


图 1-4 布氏硬度试验原理示意

2) 洛氏硬度

洛氏硬度试验是目前工厂中广泛应用的试验方法, 在洛氏硬度计(如图1-5所示)上完成。洛氏硬度试验是用一个顶角为 120° 的金刚石圆锥体或一定直径的钢球为压头, 在规定

载荷作用下压入被测试材料表面，通过测定压头压入的深度来确定其硬度值。

图 1-6 表示的是金刚石圆锥压头的洛氏硬度试验原理。为了保证压头与试样表面接触良好，试验时先加一个初始试验力，圆锥体压头到图中 1-1 位置，在试样表面得一个压痕，压头压入深度为 h_1 ，此时测量压痕深度的指针在表盘上指向零。然后，加上主试验力，压头到图中 2-2 位置，总试验力（初始试验力+主试验力）作用下压头压入深度为 h_2 ，其中包括弹性变形和塑性变形，表盘上指针以逆时针方向转动到相应的刻度位置；当将主试验力卸除后，总变形中的弹性变形恢复，压头回升一段距离，压头到图中 3-3 位置，这时，压头实际压入试样的深度为 h_3 。由于主试验力载荷所引起的塑性变形而使压头压入深度为 $h = h_3 - h_1$ ，指针顺时针方向转动停止时所指的数值就是洛氏硬度值。



图 1-5 洛氏硬度计

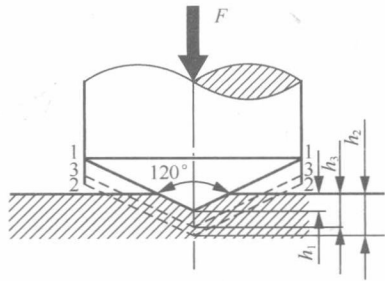
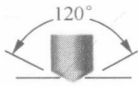


图 1-6 洛氏硬度试验原理示意

为了能用同一个硬度计测定不同软、硬或厚、薄试样的硬度，采用了由不同的压头和试验力组合成 15 种不同的洛氏硬度标尺。用不同标尺测定的洛氏硬度符号在 HR 后面加标尺字母表示。字母分别 A、B、C…按顺序直至 H、K 共 9 个，故洛氏硬度标尺有 9 种，其中常用 HRA、HRB、HRC 三种标尺。洛氏硬度表示方法：硬度值、符号 HR、标尺字母。例如，60HRC 表示用 C 标尺测得的洛氏硬度值为 60。

洛氏硬度试验法的优点是操作迅速简便，硬度值可以直接读出，压痕较小，可在工件表面或较薄的材料上进行试验。同时，采用不同标尺，可测出各种软硬不同、厚薄不一的试样的硬度，因而广泛用于热处理质量检验。

3) 维氏硬度

维氏硬度的试验原理基本上与布氏硬度试验法相同，也是根据压痕单位面积所承受的试验力计算硬度值。所不同的是维氏硬度实验的压头不是球体，而是用一个相对面间夹角为 136° 的金刚石正四棱锥体压头，压头在试验力 F 作用下将试样表面压出一个四方锥形的压痕，然后再测量压痕投影的两对角线的平均长度 d ，计算出压痕的表面积 A ，以压痕表面积上平均压力 (F/A) 作为被测材料的硬度值，称为维氏硬度，记作 HV。

维氏硬度单位为 kgf/mm^2 ，但通常不标出。维氏硬度表示方法：硬度值、符号 HV、试验力、试验力保持时间 (10~15s 不标注)。例如，640HV30 表示在试验力为 30kgf ($1\text{kgf}=9.8\text{N}$) 下保持 10~15s 测得的维氏硬度值为 640。

维氏硬度试验法试验时所加载荷小，压入深度浅，适于测试零件表面淬硬层及化学热处理的表面层（如渗碳层、渗氮层等）。同时，试验时载荷可以任意选择，可以测定从极软