

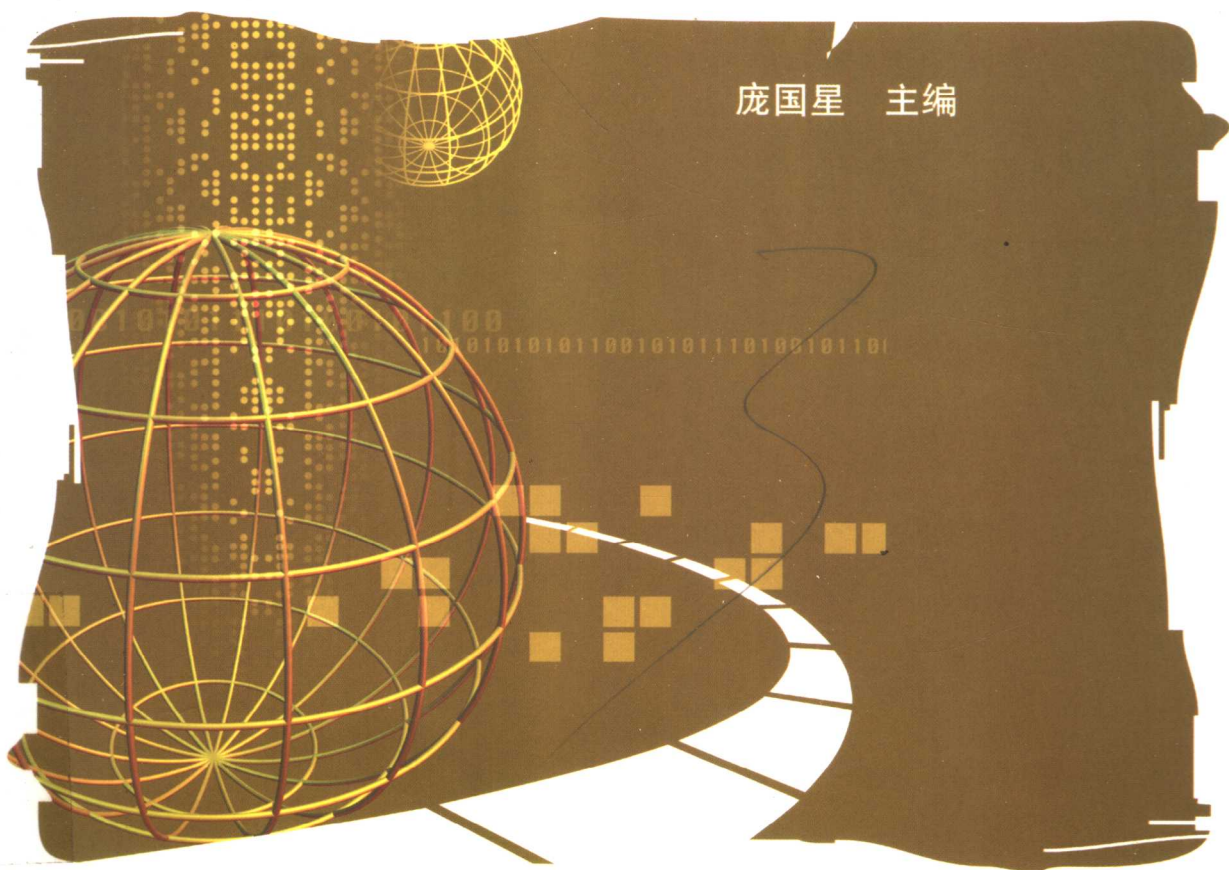


21世纪高校机电类规划教材

工程材料与成形 技术基础

Fundamentals of Engineering Materials
and Forming Technology

庞国星 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪高校机电类规划教材

工程材料与成形 技术基础

主 编 庞国星
副主编 陈祝平 陈富强
参 编 胡晓珍 郭 会 赵东方
 张巨成 李艳霞
主 审 崔占全 逯允海



机械工业出版社

全书共分为四篇十三章，每章后都附有一定量的习题与思考题。第一篇为工程材料基础理论；第二篇为常用工程材料；第三篇为工程材料成形技术基础；第四篇为工程材料应用及成形工艺选择。本书对传统的金属工艺学内容进行了精选，以培养学生使用和选择工程材料及成形工艺的能力为主要目的，去掉了繁冗的细节，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。本书对工程材料与成形工艺进行了有效的整合，避免了重复。

本书可作为高等工科院校本科机械类及近机类专业的教材，也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程材料与成形技术基础/庞国星主编. —北京: 机械工业出版社, 2005.8

21 世纪高校机电类规划教材

ISBN 7 - 111 - 17360 - 0

I. 工… II. 庞… III. 工程材料 - 成型 - 高等学校 - 教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 103309 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 倪少秋 版式设计: 冉晓华 责任校对: 吴美英

封面设计: 陈 沛 责任印制: 洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2005 年 9 月第 1 版 · 第 1 次印刷

787mm × 1092mm $1/16$ · 21 印张 · 456 千字

定价: 30.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68326294

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是依据国家教育部颁发的《工程材料及机械制造基础课程教学基本要求》，以及高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革项目“机械类专业人才培养方案和课程体系改革的研究与实践”的研究成果进行编写的。在编写过程中，又融合了各兄弟院校多年的实际教学经验，根据当前本科机械类及近机类专业人员对材料及成形技术知识的要求，以及学生的接受能力构建出本教材的体系和结构。

全书共分为四篇十三章，每章后都附有一定量的习题与思考题。第一篇为工程材料基础理论，包括材料的分类与性能、合金结构与相图、钢的热处理；第二篇为常用工程材料，包括工业用钢、铸铁、非铁金属及硬质合金、非金属材料与新型材料；第三篇为工程材料成形技术基础，包括铸造、压力加工、焊接与胶接、非金属材料与复合材料成形；第四篇为工程材料应用及成形工艺选择，包括机械零件的失效分析与表面处理、材料及成形工艺的选择。本书对传统的金属工艺学内容进行了精选，以培养学生使用和选择工程材料及成形工艺的能力为主要目的，去掉了繁冗的细节，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。教材对工程材料与成形工艺进行了有效的整合，避免了重复。

本书可作为高等工科院校本科机械类及近机类专业的教材，也可供有关工程技术人员参考。使用本书时，可结合专业的具体情况进行调整，有些内容可供学生自学。

本书由北华航天工业学院庞国星教授任主编，集美大学陈祝平教授和安徽工业大学陈富强副教授任副主编。编写分工如下：北华航天工业学院庞国星（前言、绪论、第二、三、八、十三章和第十二章第一节以及第二节部分内容），集美大学陈祝平（第七、十一章以及第十二章第二节部分内容），安徽工业大学陈富强（第九章），浙江海洋工程学院胡晓珍（第十章），北华航天工业学院郭会（第一章），赵东方（第四章），张巨成（第五章），李艳霞（第六章）。

本书承蒙燕山大学崔占全、逯允海两位教授主审。燕山大学徐瑞、官应平审阅了部分章节。本书编写得到了许多兄弟院校的支持，并参考了大量有关文献资料，在此一并表示衷心的感谢。

本书编写力求适应高等教育的改革和发展，但由于编者水平有限，难免出现错误和不足之处，敬请读者批评指正。

编 者
2005 年 5 月

目 录

前言

绪论 1

第一篇 工程材料基础理论

第一章 工程材料的分类与性能	3
第一节 工程材料的分类	3
第二节 材料的力学性能	4
第三节 材料的其他性能	13
习题与思考题	15

第二章 金属与合金的晶体结构和二元合金相图	16
第一节 纯金属的晶体结构	16
第二节 金属的结晶与同素异晶转变	21
第三节 合金的结晶与二元相图	23
第四节 铁碳合金相图	29
习题与思考题	38

第三章 钢的热处理	40
第一节 钢的热处理基础	40
第二节 钢的普通热处理	50
第三节 钢的表面热处理	62
第四节 热处理新技术简介	64
第五节 热处理工艺的应用	66
习题与思考题	68

第二篇 常用工程材料

第四章 工业用钢	71
第一节 概述	71
第二节 工程结构用钢	81
第三节 机械结构用钢	86
第四节 滚动轴承钢	97

第五节 工具钢	99
第六节 特殊性能钢	105
习题与思考题	109
第五章 铸铁	111
第一节 概述	111
第二节 铸铁的石墨化	112
第三节 一般工程用铸铁	115
习题与思考题	128
第六章 非铁金属材料与硬质合金	130
第一节 铝及其合金	130
第二节 铜及其合金	138
第三节 滑动轴承合金	143
第四节 硬质合金与粉末冶金	145
习题与思考题	149
第七章 非金属材料与新型材料	150
第一节 高聚物材料	150
第二节 陶瓷材料	159
第三节 新型工程材料简介	162
习题与思考题	168
第三篇 工程材料成形技术基础	
第八章 铸造成形	169
第一节 铸造成形理论基础	169
第二节 砂型铸造	179
第三节 特种铸造	191
第四节 铸件的结构设计	202
习题与思考题	209
第九章 金属压力加工成形	213
第一节 压力加工理论基础	214
第二节 自由锻	220
第三节 模锻	227
第四节 板料冲压	232
第五节 其他压力加工成形方法	238
习题与思考题	241

第十章 焊接与胶接成形	243
第一节 焊接工程理论基础	244
第二节 常用焊接方法	254
第三节 常用金属材料的焊接	266
第四节 焊接结构设计	271
第五节 焊接质量检验	276
第六节 胶接成形	279
习题与思考题	283
第十一章 非金属材料与复合材料的成形	286
第一节 高聚物材料成型	286
第二节 陶瓷材料成形	287
第三节 复合材料成形	290
习题与思考题	291
第四篇 工程材料应用及成形工艺的选择	
第十二章 机械零件的失效分析与表面处理	292
第一节 机械零件的失效分析	292
第二节 材料的表面处理	294
习题与思考题	303
第十三章 材料与成形工艺的选择	304
第一节 材料与成形工艺的选择原则	304
第二节 材料与成形工艺选择的步骤与方法	308
第三节 典型零件的材料与成形工艺选择	314
第四节 计算机在零件材料与成形工艺选择时的应用	323
习题与思考题	325
参考文献	326

绪 论

材料是人类生产和社会发展的重要物质基础，也是我们日常生活基本资源中不可分割的一个组成部分。在人类文明史上还曾以材料作为划分时代的标志，如石器时代、青铜时代、铁器时代等。在当代，材料科学又和制造科学同信息科学与生物科学一样，被认为是促进人类文明与发展的四大关键领域，对国民经济的发展起着重要作用。

工程材料与成形技术是机械制造生产过程的重要部分。机械制造的生产过程一般是先用铸造、压力加工或焊接等成形方法将材料制作成零件的毛坯（或半成品），再经切削加工制成尺寸精确的零件，最后将零件装配成机器。为了改善毛坯和工件的性能，常需在制造过程中穿插进行热处理。

工程材料及成形方法的选用直接影响零件的质量、成本和生产率。要合理选择毛坯种类和制造方法，必须掌握各种材料的性能、特点、应用及其成形过程，包括各种成形方法的工艺实质、成形特点和选用原则等。

工程材料与成形技术是人类在长期生产实践中发展起来的一门科学。我国在原始社会开始有陶器，早在仰韶文化（距今约 6000 年）和龙山文化时期，制陶技术已经成熟。我国也是发现和应用金属材料最早的国家，远在新石器时代的仰韶文化开始，就已会炼制和应用黄铜。我国的青铜冶炼开始于夏代，在殷商、西周时期，技术已达当时世界高峰，用青铜制造的工具、食具、兵器和车马饰，得到普遍应用，比较典型的为河南安阳出土的“司母戊”大鼎。在春秋战国时期，我国开始大量使用铁器，白口铸铁、麻口铸铁、可锻铸铁相继出现。1953 年在河北承德兴隆县出土了战国时期的浇铸农具的铁模子，说明当时已掌握铁模铸造技术。随后出现了炼钢、锻造、钎焊和热处理技术。直到明朝之前的 2000 多年间，我国的钢铁生产及金属材料成形工艺技术一直在世界上遥遥领先。与此同时，我国劳动人民在长期的生产实践中，总结出一套完整的金属加工经验。明朝宋应星所著《天工开物》，是世界上有关金属加工的最早的科学技术著作之一。但是到了 18 世纪以后，由于长期的封建统治和闭关自守，严重束缚了我国生产力的发展，使我国科学技术处于停滞落后状态。直至 1949 年解放后，我国的科学技术才得到较快发展。

18 世纪 20 年代初先后在欧美发生的产业革命极大地促进了钢铁工业、煤化学工业和石油化学工业的快速发展，各类新材料不断涌现。20 世纪 80 年代以来，一些新材料如信息材料、新型金属材料、先进复合材料、高性能塑料、纳米材料等的实用化，也给社会生产和人们的生活带来了巨大的变化。近年来，精密成形技术也不断产生，使毛坯形状、尺寸和表面质量更接近零件要求。当今之世，科学技术迅猛发展，微电子、计算机、自动化技术与传统制造工艺和设备相结合，构成了众多的先进制造技术。

尽管各种新技术、新工艺应运而生，新的制造理念不断形成，但铸造、压力加工、焊接、热处理及机械加工等传统的常规成形工艺至今仍是量大面广、经济适用的技术。因此，常规工艺的不断改进和提高，并通过各种途径实现成形的高效化、精密化、轻量化和绿色化，具有很大的技术经济意义。本课程也是学习上述基本知识的入门课程。

工程材料与成形技术基础（原“工程材料和热加工”）是机械类专业必修的一门主干技术基础课程，也是近机类和部分非机类专业普遍开设的一门课程。旨在使学生建立生产过程的基本知识，了解新材料，掌握现代制造和工艺方法，培养学生的工程素质、实践能力和创新设计能力。本课程的教学目标和基本要求可以归纳如下：

- 1) 建立工程材料和材料成形工艺的完整概念，培养良好的工程意识。
- 2) 掌握必要的材料科学及有关成形技术的理论基础。
- 3) 熟悉各类常用结构工程材料，包括金属材料、高聚物材料、陶瓷材料等的成分、结构、性能、应用特点及牌号表示方法；掌握强化金属材料的基本途径；了解新型材料的发展及应用。
- 4) 掌握各种成形工艺方法的工艺特点及应用范围；掌握零件（毛坯）的结构工艺性，具有设计毛坯和零件结构的初步能力。
- 5) 掌握选择零件材料及成形工艺的基本原则和方法步骤，了解失效分析方法及其应用，了解表面处理技术的应用；具有初步做到合理选择材料、成形工艺（毛坯类型）及强化（或改性、表面技术应用等）方法并具有正确安排工艺路线（工序位置）的能力。
- 6) 了解与本课程有关的新材料、新技术、新工艺。

本课程融多种工艺方法为一体，信息量大，实践性强，叙述性内容较多，必须在金工教学实习获得感性认识的基础上进行课堂教学，才能收到预期效果。教学过程中应注意理论联系实际，使学生在掌握理论知识的同时，提高分析问题和解决问题的工程实践能力；学生应注意观察和了解平时接触到的机械装置，按要求完成一定量的作业及复习思考题。

本课程以课堂教学为主，并应采用必要的实验、电化教学、多媒体 CAI、现场教学等教学方法。

第一篇 工程材料基础理论

第一章 工程材料的分类与性能

第一节 工程材料的分类

材料是人类文明生活的物质基础，是组成所有物体的基本要素。狭义的材料仅指可供人类使用的材料，是指那些能够用于制造结构、零件或其他有用产品的物质。人类使用的材料可以分为天然材料和人造材料。天然材料是所有材料的基础，就是在科学技术高速发展的今天，仍在大量使用水、空气、土壤、石料、木材、生物、橡胶等天然材料。随着社会的发展，人们开始对天然材料进行各种加工处理，使它们更适合于人们的使用，这就是人造材料。在我们生活、工作中所见的材料，人造材料占有相当大的比例。工程材料属于人造材料，它主要是指用于机械工程、建筑工程以及航空航天等领域的材料，按应用领域，可称为机械工程材料、建筑材料、生物材料、信息材料、航空航天材料等。工程材料按其性能特点可分为结构材料和功能材料两大类。结构材料以力学性能为主，兼有一定的物理、化学性能。功能材料以特殊的物理、化学性能为主，如那些要求具有声、光、电、磁、热等功能和效应的材料（本书主要介绍结构材料）。工程材料按其化学组成可分为：金属材料、高聚物材料、无机非金属材料、复合材料等。

金属材料是工业上所使用的金属及合金的总称。金属材料包括钢铁、非铁金属及其合金（有色金属及其合金）。由于金属材料具有良好的力学性能、物理性能、化学性能及加工工艺性能，并能采用比较简单的方法制造零件，因此金属材料是目前应用最广泛的材料。

高聚物材料包括塑料、橡胶、合成纤维、胶粘剂、涂料等。人们将那些力学性能好，可以代替金属材料使用的塑料称作工程塑料。高聚物因其资源丰富、成本低、加工方便等优点，发展极其迅速。高聚物材料已成为国家建设和人民生活中必不可少的重要材料。

无机非金属材料主要指水泥、玻璃、陶瓷材料和耐火材料等。这类材料不可燃，不老化，而且硬度高，耐压性能良好，耐热性和化学稳定性高，且资源丰富。在电力、建筑、机械等行业中有广泛的应用。随着技术的进步，无机非金属材料特别是陶瓷材料在结构和功能方面发生了很大变化，应用领域不断扩展。

复合材料是指由两种或两种以上组分、具有明显界面和特殊性能的人工合成的多相固体材料。复合材料的组成包括基体和增强材料两个部分。它能综合金属材料、高聚物材料、无机非金属材料等优点，通过材料设计使各组分的性能互相补充并彼此关联，从而获得新的性能。复合材料范围广，品种多，性能优异，具有很大的发展前景。

材料的性能一般可分为两类：一类是工艺性能，是指材料在加工过程中所表现出来的性能。另一类是使用性能，是指在使用过程中所表现出来的性能，如物理性能（如导电性、导热性、磁性、热膨胀性、密度等）、化学性能（如耐蚀性、抗氧化性等）、力学性能等。力学性能是指在机械零件设计选材与制造中应主要考虑的性能。要正确地选择和使用材料必须首先了解材料的性能。

第二节 材料的力学性能

材料的力学性能是指材料在承受各种载荷时的行为。载荷类型通常分为：静载荷、动载荷和变载荷。通过不同类型的试验，可以测得材料各种性质的性能判据。

金属的强度、塑性一般是通过金属拉伸试验来测定的。金属拉伸试验是在标准试样两端缓慢地施加拉伸载荷，试样的工作部分受轴向拉力作用产生变形，随拉力的增大，变形也相应增加，直至断裂。根据试样在拉伸过程中承受的载荷与产生的伸长量之间的关系，可测出该金属的力-伸长曲线，并由此确定该金属的强度及塑性。

以拉伸载荷和试样伸长量为坐标所形成的曲线称为力-伸长曲线。如图 1-1 为低碳钢的拉伸曲线。由图可见，低碳钢试样在拉伸过程中，材料经历了弹性、屈服、强化与颈缩四个阶段，并存在三个特征点。相应的应力依次为比例极限、屈服点和强度极限。

在线性阶段，材料所发生的变形为弹性变形。弹性变形指卸去载荷后，试样能恢复到原状的变形。

在强化阶段材料所发生的变形主要是塑性变形。塑性变形指卸去载荷后，试样不能恢复到原状的变形，即留有残余变形。

图 1-1 中， Oe 阶段属于弹性变形阶段，其中 O_p 阶段载荷与伸长量成线性正比关系，而 pe 阶段载荷与伸长量已不成正比。当载荷去除后，试样恢复原状。

e 点以后，试样开始有塑性变形，当到达 s 点时，试样开始产生明显塑性变形，在拉伸曲线上出现了锯齿形的线段，这种现象称为“屈服”。

b 点即载荷最大值，此时试样局部截面开始缩小，产生所谓“缩颈”现象。

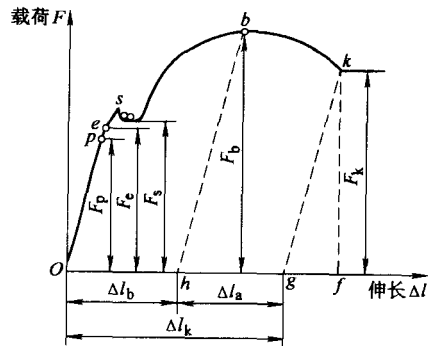


图 1-1 低碳钢力-伸长曲线

k 点为拉伸曲线终点, 表示试样已发生断裂。

由于力-伸长曲线上的载荷与伸长量不仅与试验的材料性能有关, 还与试样的尺寸有关。为了消除尺寸的影响, 应采用应力-应变曲线。

试件拉伸在横截面上所产生的应力(正应力)等于载荷除以试件原始横截面积, 用符号 σ 表示。即

$$\sigma = \frac{F}{S_0}$$

式中 σ ——应力, 单位为 MPa;

F ——试样拉伸时所承受的拉力, 单位为 N;

S_0 ——试样原始横截面积, 单位为 mm^2 。

拉伸时所产生的应变(正应变)为试样伸长量除以原始长度, 用符号 ϵ 表示。即

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{l_0}$$

式中 ϵ ——应变;

ΔL ——试样伸长量, 单位为 mm;

l_0 ——试样原始标距长度, 单位为 mm。

以 σ 与 ϵ 为坐标, 绘出的曲线为应力-应变曲线, 如图 1-2 所示。从图上可以直接获得金属材料的一些力学性能。

一、强度

强度是材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。

1. 弹性极限

材料产生完全弹性变形时所承受的最大应力值即为弹性极限。也就是应力-应变曲线中 e 点所对应的应力值, 用 σ_e 表示。

2. 屈服点和规定残余伸长应力

在拉伸过程中, 载荷变化不大, 试件变形急剧增大的现象称为屈服, 此时所对应的应力称为材料的屈服点, 用 σ_s 表示, 单位为 MPa。即

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0}$$

式中 F_s ——材料屈服时的拉伸力, 单位为 N;

S_0 ——试样的原始横截面积, 单位为 mm^2 。

屈服极限是具有屈服现象材料所特有的强度指标。但某些金属材料(如高碳钢或某些经热处理后的钢等), 在拉伸试验中并没有明显的屈服现象发生, 故无法确定其屈服极限 σ_s 。因此, 提出“规定残余伸长应力”作为相应的强度指标。国家标准规定: 当

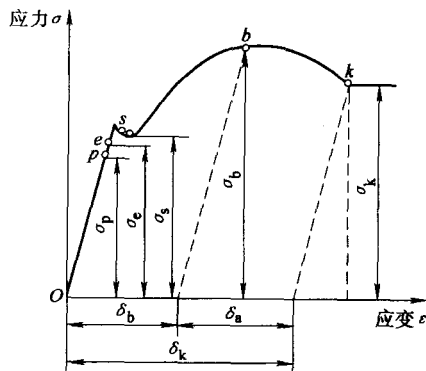


图 1-2 应力-应变曲线

试验卸除拉伸力后，其标距部分的残余伸长达到规定的原始标距百分比时的应力，作为规定残余伸长应力 σ_r 。表示此应力的符号应附以角标说明，例如 $\sigma_{0.2}$ 表示规定残余伸长率为 0.2% 时的应力。

$$\sigma_r = \frac{F_r}{S_0}$$

式中 F_r ——产生规定残余伸长时的拉力，单位为 N。

原标准 GB228—1976 将 $\sigma_{0.2}$ 称为屈服强度，以 $\sigma_{0.2}$ 表示。目前一些技术资料仍沿用这一术语。

3. 抗拉强度

材料在试样拉断前所承受的最大应力值，即

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0}$$

式中 F_b ——试样在断裂前所承受的最大载荷，单位为 N。

抗拉强度是零件设计时的重要依据，同时也是评定金属材料强度的重要指标之一。

二、塑性

断裂前材料发生不可逆永久变形的能力称为塑性。常用的塑性判据是材料断裂时的最大相对塑性变形，如拉伸时的断后伸长率和断面收缩率。

1. 断后伸长率 δ

δ 是指试样拉断后标距的伸长与原始标距之百分比，即

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

式中 L_1 ——试样拉断后的标距，单位为 mm；

L_0 ——试样原始标距，单位为 mm。

试样标距长度对材料的 δ 是有影响的。根据采用标距的不同，可以分为长、短两种试样：长试样标距满足 $L_0 = 10d_0$ ；短试样标距满足 $L_0 = 5d_0$ 。式中 d_0 为试样原始直径。对于同一材料，长试样伸长率小于短试样伸长率，长试样伸长率用 δ_{10} 表示，短试样伸长率用 δ_5 表示。

2. 断面收缩率 ψ

ψ 是指试样拉断后缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比，即

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

式中 S_1 ——试样断裂处的最小横截面积，单位为 mm^2 。

任何零件都要求具有一定塑性。零件在使用中偶尔会发生过载，但由于有一定塑性，会产生一定塑性变形而防止了零件的突然脆断。另外，塑性变形还有缓和应力集中、削减应力峰的作用，因而在一定程度上保证了零件工作安全。

例题：有一钢试样，原来长度为 200mm，直径为 20mm，进行拉伸实验。当外力增

加到 104624N 时, 开始产生塑性变形。试样拉断前的外力最大值为 184632N。拉断后的长度为 232mm, 断口处直径为 15.5mm, 求钢的 σ_s 、 σ_b 、 δ 和 ψ 。

$$\text{解: } \sigma_s = \frac{F}{S_0} = \frac{104624}{3.14 \times 10^2} \text{MPa} = 333 \text{MPa}$$

$$\sigma_b = \frac{F}{S_0} = \frac{184632}{3.14 \times 10^2} \text{MPa} = 588 \text{MPa}$$

$$\delta = \frac{232 - 200}{200} = \frac{32}{200} = 16\%$$

$$\psi = \frac{3.14 \times 10^2 - 3.14 \times 7.75^2}{3.14 \times 10^2} = \frac{10^2 - 7.75^2}{10^2} = 40\%$$

三、硬度

硬度是衡量金属材料软硬程度的指标。它是表征材料强度与塑性的一个综合判据。

硬度试验设备简单, 操作迅速方便, 又可直接地、非破坏性地在零件或工具上进行试验。根据所测硬度值可近似估计出材料的抗拉强度和耐磨性。此外, 硬度与材料的切削加工性、焊接性、冷成形性能间存在着一定联系, 可作为选择加工工艺时的参考。因此, 在工程上被广泛地用以检验原材料和热处理件的质量, 鉴定热处理工艺的合理性以及作为评定工艺性能的参考。

硬度试验方法很多, 一般可分为三类: 压力法, 如布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度、显微硬度、超声波硬度; 划痕法, 如莫氏硬度、锉刀硬度; 回跳法, 如肖氏硬度等。目前机械制造生产中应用最广泛的是布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。

1. 布氏硬度

用一定大小的试验力 F , 把直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球压入被测金属的表面, 如图 1-3 所示, 保持规定时间后卸除试验力, 测量试样表面的压痕直径 d , 并计算出压痕球缺表面积 S 所承受的平均应力值, 此值即为布氏硬度值, 以 HB 表示。当压头为淬火钢球时, 硬度符号为 HBS, 适用于布氏硬度值低于 450 的金属材

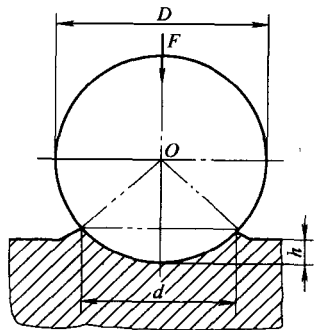


图 1-3 布氏硬度试验原理

质合金球时, 硬度符号为 HBW, 适用于布氏硬度值为 450 ~ 650 的金属材料。

当试验力 F 单位为 kgf 时:

$$\text{HB} = F/S = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

当试验力 F 单位为 N 时:

$$\text{HB} = 0.102 \times \frac{F}{S} = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

因此布氏硬度的单位为 kgf/mm^2 ($1\text{kgf}/\text{mm}^2 \approx 9.81\text{N}/\text{mm}^2$) 或 N/mm^2 , 习惯上只写明硬度的数值而不标出单位。硬度值位于符号前面, 符号后面的数值依次为压头直径、载荷大

小及载荷保持时间(10~15s)不标注。例如:500HBW5/750表示用直径5mm硬质合金球在7360N(750kgf),载荷作用下保持10~15s,布氏硬度值为500。120HBS 10/1000/30表示用直径10mm钢球,在9810N(1000kgf),载荷作用下保持30s,布氏硬度值为120。

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 ,就会出现对某些材料不适应的现象。因此在生产中进行布氏硬度试验时,要求能使用不同大小的试验力和压头直径。对同一种材料采用不同的 F 和 D 进行试验时,能否得到同一的布氏硬度值,关键在于压痕几何形状的相似,即建立 F 和 D 的某种选配关系,以保证布氏硬度的不变性。

国家标准(GB231—2002)规定,可根据金属材料的种类和布氏硬度范围,按表1-1选定 F/D^2 值。从而确定出 D 值、 F 值和保持时间。

由硬度计算公式可见,当载荷 F 与球体直径 D 选定时,硬度值只与压痕直径 d 有关。实际工作中,一般用刻度放大镜测出压痕直径 d ,然后根据 d 值查表,即可求得所测材料硬度值。

2. 洛氏硬度

洛氏硬度试验法是目前工厂中应用最广泛的试验方法。它是用一个锥顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 $\phi 1.588\text{mm}$ 的淬火钢球为压头,在规定载荷作用下压入被测金属表面,通过测定压痕深度来确定硬度值。为了能用同一硬度计测定从极软到极硬材料的硬度,可采用不同的压头和载荷,从而组成了多种不同的洛氏硬度标尺,国家标准规定了A、B、C、D、E、F、G、H、K共9种标尺,其中A、B、C、D标尺应用最广。图1-4为洛氏硬度试验示意图。其中 h_0 为施加主试验力前在初始试验力下的压痕深度,单位为mm; h_1 为主试验力下的压痕增量,单位为mm; e 为去除主试验力后,在初始试验力下的残余压痕深度增量,用

表 1-1 布氏硬度试验 F/D^2 值的选择

材 料	布氏硬度 HBS	$0.102 \times F/D^2$
钢及铸铁	< 140	10
	> 140	30
铜及其合金	< 35	5
	35 ~ 130	10
轻金属及其合金	> 130	30
	< 35	2.5(或 1.25)
	35 ~ 80	10(或 5、15)
铅、锡	> 80	10(或 15)
		1.25(或 1)

注:试验条件允许时,应尽量选用直径10mm的球和无括号的 F/D^2 值。

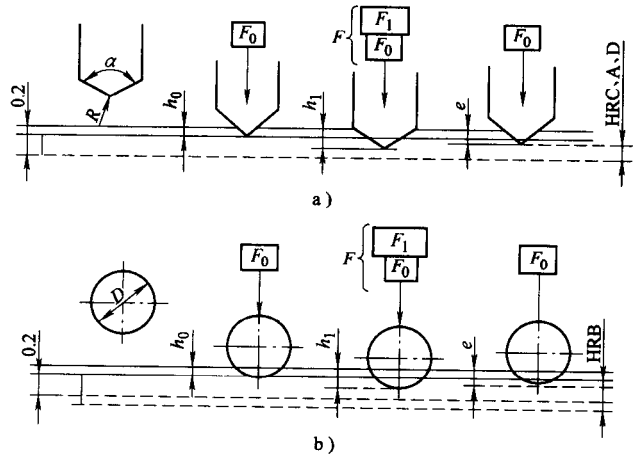


图 1-4 洛氏硬度试验示意图

a) HR (A、C、D) 标尺 b) HRB 标尺

0.002mm 为单位表示。洛氏硬度的计算公式:

$$HR(A, C, D) = 100 - e$$

$$HRB = 130 - e$$

国标规定 HR 之前的数字为硬度值,符号后为标尺类型,例如 50HRC 表示标尺 C 下测定的洛氏硬度为 50。表 1-2 为四种标尺试验条件和应用范围。

洛氏硬度试验法的优点是操作迅速简便,由于压痕较小,故对工件损伤较小,并可在工件表面或较薄的金属上进行试验。其缺点是因压痕较小,对组织比较粗大且不均匀的材料,测得的硬度不够准确。

表 1-2 常用四种洛氏硬度的试验条件及应用

硬度代号	压头类型	总试验力 F/N	洛氏硬度范围	应用范围
HRA	120°金刚石圆锥体	588.4	20 ~ 88	碳化物、硬质合金等
HRB	φ1.588mm 钢球	980.7	20 ~ 100	非铁金属,退火、正火钢等
HRC	120°金刚石圆锥体	1471	20 ~ 70	淬火钢、调质钢等
HRD	120°金刚石圆锥体	980.7	40 ~ 77	薄钢板、中等厚度表面硬化零件

3. 维氏硬度

洛氏硬度试验虽可采用不同的标尺来测定由极软到极硬金属材料的硬度,但不同标尺的硬度值间没有简单的换算关系,使用上很不方便。为了能在同一硬度标尺上测定由极软到极硬金属材料的硬度值,特制定了维氏硬度试验法。

维氏硬度的试验原理基本上和布氏硬度试验相同。图 1-5 为维氏硬度试验原理示意图。它是用一个相对面间夹角为 136°的金刚石正棱锥体压头,在规定载荷 F 作用下被测试样表面,保持一定时间后卸除载荷,测量压痕对角线长度 d ,进而计算出压痕表面积,最后求出压痕表面积上的平均压力,即为金属的维氏硬度,用符号 HV 表示。在实际测量中,并不需要进行计算,而是根据所测 d 值直接进行查表得到所测硬度值。

维氏硬度表示方法为:符号 HV 前面为硬度值, HV 后面数值依次表示载荷和载荷保持时间(保持时间为 10 ~ 15s 时不标注),单位一般不标注。例如 640HV30 表示在 294N (30kgf) 载荷作用下保持 10 ~ 15s 测定的维氏硬度值为

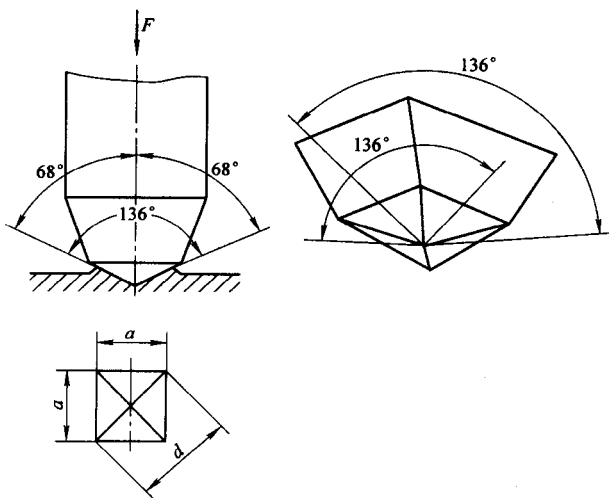


图 1-5 维氏硬度试验原理图

640; 640HV30/20 表示用 294N (30kgf) 载荷作用下, 保持 20s 测定的维氏硬度值为 640。

维氏硬度试验法加载小, 压入深度浅, 适用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), 当试验力小于 1.961N 时, 又称显微硬度试验法; 同时维氏硬度是一个连续一致的标尺, 硬度值不随载荷变化而变化。但维氏硬度试验法测定较麻烦, 工作效率不如测洛氏硬度高。

4. 其他硬度

(1) 肖氏硬度 又名回跳硬度。是把规定形状和质量的金钢石或钢球冲头从初始高度 h_0 落在试样表面上, 冲头弹起一定高度 h , 测 h 与 h_0 的比值与肖氏硬度系数 R 的乘积就是肖氏硬度值。用符号 HS 表示。

$$HS = R \frac{h}{h_0}$$

肖氏硬度主要取决于材料弹性变形能力的大小。试验时, 冲头回跳高度与材料硬度有关, 材料越硬其弹性极限越高, 冲头回跳高度越高。肖氏硬度值是一个无量纲的值, 可在硬度计上直接读取。它适用于测量大型表面光滑的工件, 如大型冷轧辊的验收就采用肖氏硬度。

(2) 努氏硬度 将两相对棱边夹角分别为 $172^{\circ}30'$ 和 130° 的菱形锥体金钢石压头以规定的试验力压入试样表面, 以规定的保持时间后卸除试验力, 测量其压痕的长对角线, 计算出压痕投影面积, 则压痕投影单位面积所承受的平均压力值就是努氏硬度值。用符号 HK 表示。

努氏硬度试验既可以测量极薄、极细小试样, 又可测量如玻璃、玛瑙、矿石等脆性材料的硬度。特别适用于对经表面热处理或化学热处理的工件硬度和硬度梯度的测定。

(3) 莫氏硬度 是一种划痕硬度。此时, 硬度可以定义为材料抵抗划痕的能力。将十种矿物按硬度逐渐增高的次序排列, 得到了莫氏硬度的等级如下: ①滑石; ②石膏; ③方解石; ④氟石; ⑤磷灰石; ⑥长石; ⑦石英; ⑧黄石; ⑨蓝宝石或刚玉; ⑩金钢石。如果被测材料能划伤某一级莫氏等级的材料, 而不能划伤相邻高一级的莫氏等级材料, 则就此可以近似确定此材料的莫氏硬度值。如普通玻璃大约是 5.5 级, 淬硬钢大约是 6.5 级, 这种测量硬度的方法很粗略, 适合于矿物识别。

(4) 锉刀硬度 是一种划痕硬度, 是利用经过标定的硬度不同的几把锉刀, 通过锉削试样或工件, 可以确定被测物的硬度范围。

标准锉刀: 其形状、大小、刀纹都应当一致, 每两把锉刀相差 5HRC。如果工件能被 55HRC 的锉刀锉削, 而不能被 50HRC 的锉刀锉削, 便可确定该工件的硬度在 50 ~ 55HRC 之间。

(5) 超声波硬度 是用一根镶有金钢石锥体压头的超声波传感器杆, 在固定试验力作用下与试件接触, 压头压入试件后, 杆的谐振频率发生改变, 通过测量传感器杆谐振频率的变化即可测定试样硬度。在试验中, 其值可直接在刻度盘上读出, 一般用洛氏硬度或维氏硬度来表示。