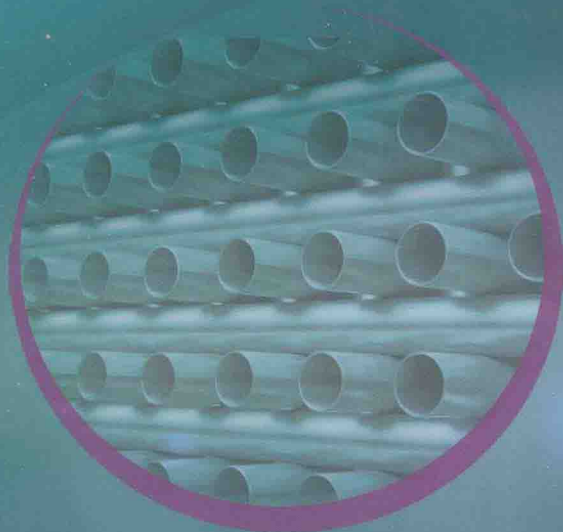




工程材料与热加工基础

韶剑 张明远◎编著



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

工程材料与热加工基础

主 编 方韶剑 张明远

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内容提要

本书根据劳动和社会保障部培训就业司最新颁发的教学大纲,并结合教学实践和焊接技术的发展状况编写而成。本书的内容编排结合岗位技术特点,贴近生产实际。在尊重教学规律的前提下,注重对部分专业知识的重新整合和对学生创新精神和实践能力的培养。全书在保证理论体系清晰、完整的前提下,力争做到实用为先、够用为度、宽基础、厚专业。

全书共9章,主要内容为金属材料的力学性能、金属的晶体结构及塑性变形、金属材料的热加工基础、合金的相结构与相图、钢的热处理、钢铁材料、非铁合金及非金属材料、机械零件的失效、选材及工程材料的应用等,书后还附有实验指导。

本书可供焊接技术、机械制造、机电一体化等相关专业的师生使用,也可作为岗位培训教材和相关工程技术人员参考资料。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

工程材料与热加工基础 / 方韶剑, 张明远主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2016.3
ISBN 978-7-5682-1942-6

I. ①工… II. ①方… ②张… III. ①工程材料 ②热加工 IV. ①TB3 ②TG306

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第042739号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

82562903 (教材售后服务热线)

68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京通县华龙印刷厂

开 本 / 787毫米 × 1092毫米 1/16

印 张 / 19.75

字 数 / 400千字

版 次 / 2016年3月第1版第1次印刷

定 价 / 67.00元

责任校对 / 张沁萍

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

PREFACE // 前言 //

本套教材根据劳动和社会保障部培训就业司最新颁发的教学大纲，结合职业技能鉴定需求和焊接专业特点编写而成。全套教材包括《熔焊方法与工艺》《焊接电工电子技术》《焊接工程制图与 CAD》《焊接结构生产》《焊接检测技术》《熔焊基础与金属材料焊接》《工程材料与热加工基础》《机械工程基础（焊接专业）》《焊接安全与卫生》《金工实习（焊接专业）》《材料连接与切割技术》《电弧焊工艺》《钳工与冷作工艺》《钣金连接技术》等。

在教材的编写过程中，我们始终坚持了以下几个原则：

（1）坚持中高级技能人才的培养方向，从职业（岗位）需求分析入手，强调实用性，使学生掌握一定理论知识，培养学生分析问题、解决问题的能力。并引导学生理论联系实际，提高学生操作技能水平。

（2）紧密结合教育教学实际情况，化繁为简，化难为易，全书以国家职业资格标准为依据，力求使教材内容在覆盖职业技能鉴定的各项要求的基础上拓展外延，以满足不同层次的各级各类学校和工矿企业的需求。

（3）突出教材的时代感，力求较多地引进新知识、新技术、新工艺、新方法、新材料等方面的内容，较全面地反映焊接技术发展趋势。

（4）打破传统的教材编写模式，树立以学生为主体的教学理念，强调培养学生自主学习能力。

本套教材是基于编者多年的教学实践积淀而成。编写时，取材力求少而精，突出实用性，内容紧密结合工程实践。本套教程可供焊接技术、机械制造、机电一体化等相关专业的师生使用，也可作为岗位培训教材和相关工程技术人员的参考资料。

编 者

目 录

Contents

绪 论	1
第 1 章 工程材料的力学性能	4
1.1 材料的受力形式	4
1.2 静载荷条件下材料的力学性能	5
1.3 动载荷下力学性能	12
第 2 章 金属的晶体结构与塑性变形	20
2.1 纯金属的晶体结构	20
2.2 金属的结晶与同素异构转变	35
2.3 金属的塑性变形与再结晶	41
第 3 章 金属材料热加工基础	48
3.1 锻压成形技术	50
3.2 铸造成形	60
第 4 章 合金的相结构与相图	97
4.1 合金的相结构	97
4.2 二元合金相图的建立	100
4.3 铁碳合金相图	112
4.4 金属铸锭宏观组织	127
第 5 章 钢的热处理	131
5.1 钢在加热时的组织转变	132
5.2 钢在冷却时内部组织的变化	134
5.3 钢的退火和正火	143
5.4 钢的淬火与回火	146
5.5 钢的表面热处理及表面工程技术	157

5.6	可控气氛热处理和化学热处理	166
5.7	热处理工艺设计与常见热处理工艺缺陷	173
第6章	钢铁材料	180
6.1	碳素钢	180
6.2	合金钢的分类及编号	187
6.3	合金结构钢	195
6.4	合金工具钢	205
6.5	特殊性能钢	215
6.6	铸铁	221
第7章	非铁合金及非金属材料	231
7.1	非铁合金	231
7.2	非金属材料	248
第8章	机械零件的失效、选材及工程材料的应用	265
8.1	零件的失效与失效分析	265
8.2	选材的一般原则	270
8.3	典型零件的选材	276
第9章	实验指导书	285
实验1	铁碳合金平衡组织观察	285
实验2	铁碳合金非平衡组织观察	290
实验3	钢的热处理	293
实验4	常用金属材料的显微组织观察	296
附录		299
参考文献		301

绪 论

材料、能源和信息成为现代社会和现代技术三大支柱，是人类生产和生活的物质基础，也是人类技术进步的标志。例如，石器时代、青铜器时代和铁器时代，它直接反映出了人类社会发展的文明程度。我们亲身经历了从钢铁时代向硅芯片为代表的电子材料时代的过渡。当今材料被广泛地应用于常规和高精尖技术，在机械、运输、建筑、能源、医疗、通信、计算机等行业发挥十分关键的作用。

无论是远古时代，还是生产力高度发达的今天，无论是工业、农业、现代国防，还是日常生活，均离不开材料。它既具有 5 000 年的悠久历史，又处于当今科学技术中的主导地位，在材料的生产和使用方面，我们的祖先有过辉煌的成就，商周时代的青铜冶炼已达到相当大的规模，从河南安阳晚商遗址中出土的司母戊鼎重达 875 kg，反映出当时精湛的铸造技术，到春秋战国时期已达到技术顶峰，在湖北江陵发掘的著名的越王勾践的两把宝剑，其制造水平令人惊讶，堪称青铜器的杰作，我国从春秋战国时期（公元前 770 年—公元前 221 年）已开始使用大量铁器。从兴隆战国遗址中发掘的浇注农具的铁模，说明冶铸技术由泥砂造型水平进入铁模铸造的高级阶段。西汉《史记·天官书》记载有“水与火合为淬”，说出了钢铁加热水冷的淬火热处理的工艺要点。对于先炼铁后炼钢的两步炼钢技术我国要比其他国家早 1 600 年。钢铁技术的快速发展，对社会进步起了巨大推动作用。

18 世纪后物理、化学、力学等科学的发展，尤其是显微镜的发明及使用，使金属材料的生产和应用由感性经验阶段进入到理论指导阶段。20 世纪 X 光技术、电子显微技术、同位素技术的成功使用，使材料科学进入到新时代。一种新材料的出现，往往可以导致一系列新技术的突破，而各种新技术及新兴产业的发展，无不依赖于新材料的研发。如海洋用深潜器及各种海底设施与所需要的耐压、耐蚀结构材料，卫星宇航设备所需的轻质高强度材料，医学上制造的人工脏器、人造骨骼、人造血管等与所需的各种与人体相容的特殊材料以及智能材料、环境材料、复合材料等。

新中国成立后我国用碳素结构钢 A3（即 Q235）建造了武汉长江大桥，用强度较高的合金钢 16 Mn 制造了南京长江大桥，用强度更高的合金结构钢 16 MnVN 建

成了九江大桥,原子弹、氢弹的研制成功,火箭、人造卫星的上天,都凝聚着材料研究的成果。由于现代科学技术的发展,促进和支持了材料工业的迅速发展,新材料新工艺不断涌现,而且伴随着金属材料的发展,一些非金属材料、陶瓷和复合材料也迅速地发展起来,弥补了金属材料性能的某些不足。年产30万吨的乙烯工程的建成,就是高分子材料工业发展的见证,在机械制造业中这些新材料的份额逐渐增加。金属材料、非金属材料、复合材料构成了完整的工程材料体系。

工程材料是指具有一定性能,在特定的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,根据国际上的动态和我国新技术的发展,可以按以下方式划分。

(1) 按工业工程来分类。有机械工程材料(机床、农业机械、交通设备、电工设备、化工和纺织设备)、土建材料(水泥)和电工材料(铜、铝、硅钢片)。

(2) 按物质结构分类。有金属材料(黑色金属和有色金属)、无机非金属材料(陶瓷)、有机高分子材料(塑料、橡胶、合成纤维)和复合材料(玻璃钢、卫星壳体、宇宙飞行器外壳、飞机机身、螺旋桨、发动机叶轮、汽车车身、轻型船艇、耐酸、耐盐、耐碱、耐油管道、容器)。

(3) 按用途分类。有结构材料(以力学性能为主要使用性能并兼有一定的物理化学性能)、功能材料(特异物理化学性质的材料、超导材料、阻尼材料、激光材料、储氢材料、生物材料、半导体材料、形状记忆材料等)。

随着材料科学技术的发展和应用,促进了机械制造业的飞跃发展,现代设计与制造的机械已不是原来意义上的单纯机械了,已经发展到机电一体化阶段。我国是一个钢材生产和使用的大国,目前钢产量和使用量跃居世界首位。材料科学和工程技术发展迅速,我们需要掌握材料科学的基本理论和基本知识,研究和发明新材料和新工艺。合理使用各种工程材料,充分发挥材料的潜力。

本课程重点内容可归纳为:一条线,两张图,三种材料,四把火。一条线指的是材料的化学成分——组织、结构——性能——与使用之间的相互关系及其变化规律,是贯穿本课程的“纲”。两张图是指 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图和奥氏体等温转变曲线图。三种材料是指金属材料、非金属材料 and 复合材料。四把火即退火、正火、淬火和回火。主要涉及的是机械工程材料,并按物质结构及用途进行简明阐述。在机械工程材料中金属材料目前仍是最主要的材料,尤其是钢铁材料因具有优良的力学性能、工艺性能和低的成本,在机械工程中仍占首要地位。

本课程内容以定性描述为主,具体表现为“三多”。一是讲授内容中名词、概念、术语多,会使学生感到枯燥乏味;二是定性描述、经验性总结多,各章节之间没有像数理化那样严密的逻辑联系,会使学生从学习内容和学习方法上感到不习惯,产生厌学情绪;三是记忆性的内容、规律多,会使学生在学习时感到无从下手,抓不住重点。对学生而言,本课程是一门从内容到授课方式及学习方法上全新的课程,教师和学生要共同努力,尽量缩短适应时期。

学习本课程要求学生了解基本知识、基本原理、工艺和作用；掌握金属材料的成分、组织、性能及用途；了解新型材料的发展状况；了解非金属材料的组成、性能及应用等基本知识，初步具有正确确定一般机械零件的热处理方法及确定其工序位置的能力。所以学习时不但要学习基本理论，而且要注意联系生产实际及实验条件。

第 1 章

工程材料的力学性能

工程材料的力学性能是指材料在载荷作用下所表现出来的性能，力学性能主要包括强度、塑性、硬度、韧性及疲劳强度等，它取决于材料本身的化学成分和材料的微观组织结构。当载荷性质、环境温度与介质等外在因素不同时，材料会产生不同的变形和断裂过程与方式，因此用来衡量材料力学性能的指标也不同。

1.1 材料的受力形式

材料在加工及使用过程中所受的外力称为载荷。根据载荷作用性质的不同，分为静载荷、冲击载荷及疲劳载荷等三种：静载荷是指大小不变或变动很慢的载荷；冲击载荷是指突然增加的载荷；疲劳载荷是指所经受的周期性或非周期性的动载荷（也称循环载荷）。

可以根据载荷作用方式不同，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。

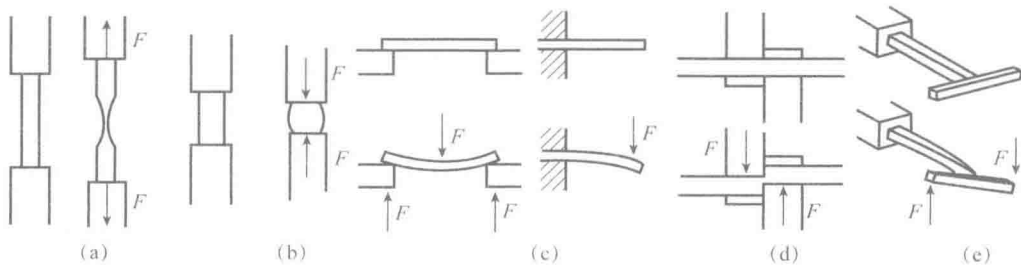


图 1-1 载荷的形式

(a) 拉伸载荷；(b) 压缩载荷；(c) 弯曲载荷；(d) 剪切载荷；(e) 扭转载荷

材料受不同载荷作用而发生的几何形状和尺寸的变化称为变形。变形一般分为弹性变形和塑性变形。

材料受外力作用后,为保持其不变形,在材料内部作用着与外力相对抗的力称为内力。单位面积上的内力称为应力。材料受拉伸载荷或压缩载荷作用时,其横截面积上的应力(σ)按下式计算:

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

式中 F ——外力(N);

S ——横截面积(m^2);

σ ——应力(Pa),应力单位是Pa, $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ 。

当面积用 mm^2 时,则应力可用 MPa 为单位。 $1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2 = 10^6 \text{ Pa}$ 。

1.2 静载荷条件下材料的力学性能

1.2.1 强度

强度是指材料在外力作用下抵抗永久变形和破坏的能力,强度大小通常用应力来表示。根据载荷作用方式不同,强度可分为抗拉强度(σ_b)、抗压强度(σ_{bc})、抗弯强度(σ_{bb})、抗剪强度(τ_b)和抗扭强度(τ_t)等五种。一般情况下多以抗拉强度作为判别材料强度高低的指标。

抗拉强度是通过拉伸试验测定的。拉伸试验的方法是用静拉力对标准试样进行轴向拉伸,同时连续测量力和相应的伸长,直至断裂。根据测得的数据,即可求出有关的力学性能。

实验前,将被测金属材料(以低碳钢为例)制成一定形状和尺寸的标准拉伸试样,在国家标准中,对试样的形状、尺寸及加工要求均有明确的规定。拉伸试样的形状一般有圆形和矩形两类,最常用的是圆形截面拉伸试样,图1-2所示为圆形拉伸试样。图中 d_0 是试样原始直径(mm), l_0 为试样原始标距长度(mm)。试样有长试样和短试样之分,长试样 $l_0 = 10 d_0$,短试样 $l_0 = 5 d_0$ 。

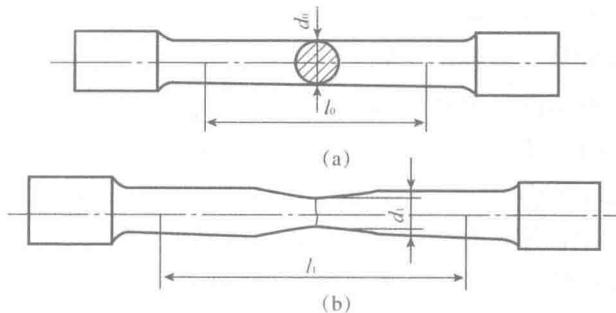


图1-2 圆形拉伸试样

(a) 拉伸前; (b) 拉伸后

实验时,将试样装夹在拉伸试验机上缓慢施加拉伸载荷,试样不断产生变形,直至试样被拉断为止。实验机自动记录装置可将整个拉伸过程中的拉伸载荷和伸长量描绘在以拉伸载荷 F 为纵坐标、伸长量 Δl 为横坐标的图上,即得到力—伸长曲线(也叫拉伸曲线),如图 1-3 所示。

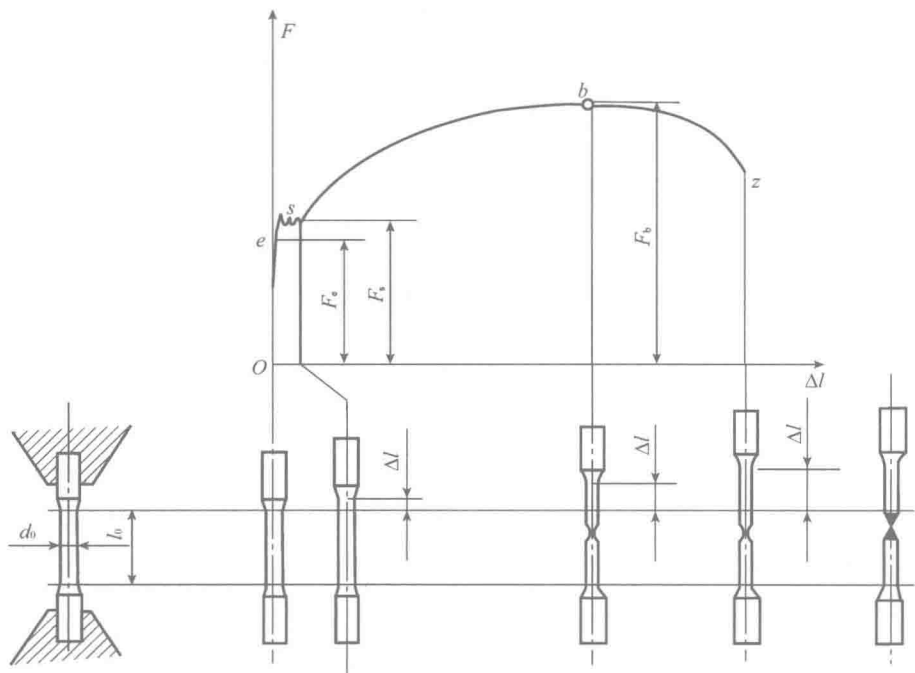


图 1-3 力—伸长曲线

(1) 屈服点 σ_s 。试样在试验过程中,力不增加(保持恒定)仍能继续伸长(变形)时的应力称为屈服点,在图 1-3 的 s 阶段, s 点的应力 σ_s 即为屈服点,计算公式如下:

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

式中 σ_s ——屈服点 (N/mm^2);

F_s ——试样屈服时的载荷 (N);

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

有些材料在拉伸过程中无明显屈服现象,很难测出屈服强度,此时用测定规定残余伸长应力 σ_r 来表示它的屈服点。 σ_r 表示试样卸除拉伸载荷后,其标距部分的残余伸长达规定的原始标距百分比时的应力。所谓的规定残余伸长应力是指试样卸除拉伸载荷后,其标距部分的残余伸长达规定的原始标距百分比时的应力,如 $\sigma_{r0.2}$ 表示规定残余伸长率达到 0.2% 时的应力,如图 1-4 所示。按下列公式计算:

$$\sigma_{r0.2} = \frac{F_{r0.2}}{S_0}$$

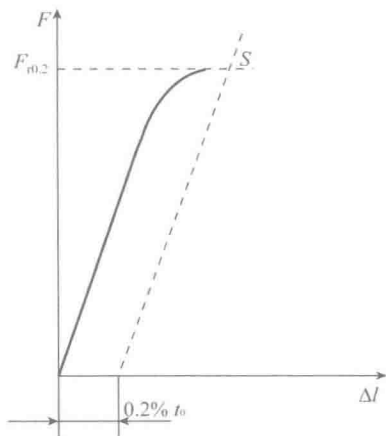


图 1-4 规定残余伸长应力示意图

式中 $F_{r0.2}$ ——残余伸长率达 0.2% 时的载荷 (N);
 S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2);
 $\sigma_{r0.2}$ ——规定残余伸长应力 (N/mm^2)。

图 1-4 所示为规定残余伸长应力示意图。

机械零件在工作时如受力过大, 则因过量的塑性变形而失效。当零件工作时所受的力低于材料的屈服点或规定残余伸长应力, 则不会产生过量的塑性变形。材料的屈服点或规定残余伸长应力越高, 允许的工作应力也越高, 则零件的截面尺寸及自身质量就可以减少。因此, 材料的屈服点或规定残余伸长应力是机械设计的主要依据, 也是评定材料优劣的重要指标。

(2) 抗拉强度。材料在拉断前所能承受的最大应力称为抗拉强度。用符号 σ_b 表示, 按下列公式计算:

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

式中 σ_b ——抗拉强度 (N/mm^2);
 F_b ——试样承受的最大载荷 (N);
 S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

抗拉强度表示材料在拉伸载荷作用下的最大均匀变形的抗力。也是机械零件设计和选材的主要依据之一。

1.2.2 塑性

塑性是指材料在外力作用下产生塑性变形而不被破坏的能力。塑性指标也是由拉伸试验测得的, 常用材料拉伸时最大的相对塑性变形 (伸长率和断面收缩率) 来表示。

试样拉断后, 标距的伸长与原始标距的百分比称为伸长率, 用符号 δ 表示。其计算方法如下:

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

式中 δ ——伸长率 (%)；
 L_1 ——试样拉断后的标距 (mm)；
 L_0 ——试样的原始标距 (mm)。

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为断面收缩率，用符号 ψ 表示。其计算方法如下：

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

式中 ψ ——断面收缩率 (%)；
 S_0 ——试样的原始横截面积 (mm^2)；
 S_1 ——试样拉断处的最小横截面积 (mm^2)。

材料的伸长率 (δ) 和断面收缩率 (ψ) 数值越大，表示材料的塑性越好。塑性好的材料可以发生大量塑性变形而不破坏，便于通过塑性变形加工成复杂形状的零件。例如，工业纯铁的 δ 可达 50%， ψ 可达 80%，可以拉成细丝、轧薄板等。而铸铁的 δ 和 ψ 几乎为零，所以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，因此比较安全。

1.2.3 硬度

材料抵抗局部变形（特别是塑性变形）、压痕或划痕的能力称为硬度。通常，材料越硬，其耐磨性越好。同时通过硬度值可估计材料的近似 σ_b 值。硬度试验方法比较简单、迅速，可直接在原材料或零件表面测试，因此被广泛应用。常用的硬度测试方法是压入法，主要有布氏硬度 (HB)、洛氏硬度 (HR)、维氏硬度 (HV) 等。此外，还有划痕硬度试验法（如莫氏硬度）、回跳硬度试验法（如肖氏硬度）等，生产中常用的是压入硬度试验法。

(1) 布氏硬度。布氏硬度是用一定直径的淬硬钢球或硬质合金球做压头，以相应的实验载荷压入试样表面，经规定保持时间后，卸除实验载荷，测量试样表面压痕直径，如图 1-5 所示。

布氏硬度值是实验载荷除以球面压痕表面积所得的值，用符号 HBS (W) 来表示，HBS 表示压头为淬硬钢球，HBW 表示压头为硬质合金球，计算公式如下：

$$HBS (HBW) = 0.102 \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中 F ——试验力 (N)；
 D ——球体直径 (mm)；

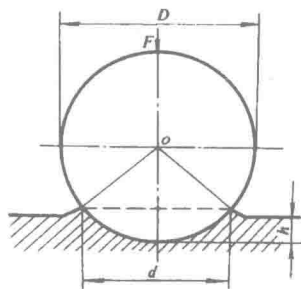


图 1-5 布氏硬度试验原理图

d ——压痕平均直径 (mm)。

从上式中可以看出, 当 F 、 D 一定时, 布氏硬度值仅与压痕平均直径 d 的大小有关。 d 越小, 布氏硬度值越大, 材料硬度越高; 反之, 说明材料越软。在实际应用中, 布氏硬度一般不用计算, 而是用专用的刻度放大镜量出压痕直径 d , 查表即可得到。

布氏硬度用符号 HB 表示。使用淬硬钢球时用 HBS 表示, 适合于测定布氏硬度值在 450 以下的材料; 使用硬质合金球压头时用 HBW 表示, 适合于测量布氏硬度值在 450 ~ 650 之间的材料。符号 HBS 或 HBW 之前的数字为硬度值, 符号后面按以下顺序用数字表示试验条件。例如:

180 HBS 10/1 000/10 表示用直径 10 mm 的淬硬钢球压头在 9.8 kN (1 000 kg × 9.8 N/kg) 的试验载荷作用下, 保持 10 s 时测得的布氏硬度值为 180。

550 HBW 5/750 表示用直径 5 mm 的硬质合金球压头在 7.35 kN (750 kg × 9.8 N/kg) 的试验载荷作用下, 保持 10 ~ 15 s (可省略, 不标注) 时测得的布氏硬度值为 550。

布氏硬度试验时, 压头球体的直径 (D)、试验力 (F) 及试验力保持的时间 (t), 应根据被测材料的种类、硬度值的范围及的厚度进行选择, 见表 1-1。

表 1-1 布氏硬度实验规范

材料种类	布氏硬度 /HBS	压头直径 D/mm	$0.102F/D^2$	实验载荷 F/N	试验保持时间 t/s
钢和铸铁	≥ 140	10	30	29 420	10
		5		7 355	
		2.5		1 839	
	< 140	10	10	9 807	10 ~ 15
		5		2 452	
		2.5		613	
非金属材料	> 130	10	30	29 420	30
		5		7 355	
		2.5		1 839	
	35 ~ 130	10	10 (5 或 15)	9 807	30
		5		2 452	
		2.5		613	
	< 35	10	2.5 (或 1.25)	2 452	60
		5		613	
		2.5		153	

注：(1) 当试验条件允许时，应尽量选用直径为 10 mm 的球。

(2) 当有关标准中投有明确规定时，应使用无括号的 $0.102 F/D^2$ 值。

布氏硬度实验压痕面积较大, 受测量不均匀度影响较小, 故测量结果较准确, 适合于测量组织粗大且不均匀的金属材料的硬度, 如铸铁、铸钢、非铁金属及其合金, 各种退火、正火及调质的钢材。但是布氏硬度操作时间较长, 对不同材料需要更换压

头和试验力，压痕测量也较费时间。在进行高硬度材料试验时，由于球体本身的变形会使测量结果不准确。压痕较大，不宜于测量成品及薄件。

(2) 洛氏硬度。洛氏硬度是在初始试验力 (F_0) 及总试验力 ($F_0 + F_1$) 先后作用下，将压头（金刚石圆锥体或钢球）压入试样表面，经规定保持时间后卸除主试验力 (F_1)，用保持初始试验力的条件下，测量的残余压痕深度增量来计算硬度，如图 1-6 所示。

图中 0-0 位置为压头与试样表面未接触的位置；1-1 位置为旋转洛氏硬度计手柄使试样台上升，试样表面接触压头后，开始施加初始实验载荷 F_0 ，压头经试样表面压入试样深度为 h_1 ；2-2 位置为初始实验载荷 F_0 和主实验载荷 F_1 共同作用下，压头压入试样深度为 h_2 ；3-3 位置为在卸除主实验载荷 F_1 后，但保持初始实验载荷 F_0 条件下，因试样弹性变形使压头恢复的位置，此时压头压入试样深度为 h_3 。因此，压头在主实验载荷 F_1 作用下，实际压入试样产生塑性变形的压痕深度为： $e = h_3 - h_1$ （残余压痕深度增量）。用 e 的大小来判断材料的硬度， e 越大，硬度越低，反之则越高。

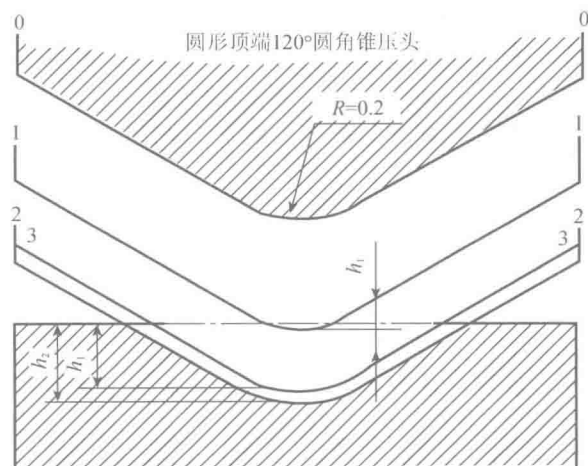


图 1-6 洛氏硬度实验原理图

为了用一台硬度计测定从软到硬不同材料的硬度，可采用不同的压头和总试验力，组成 15 种洛氏硬度标尺，每一种标尺用一个字母在洛氏硬度符号 HR 后面加以注明。常用的洛氏硬度标尺是 HRA、HRB、HRC 三种。其中 HRC 应用最为广泛。三种洛氏硬度标尺的试验条件和适用范围见表 1-2。

表 1-2 常用洛氏硬度标尺的试验条件和适用范围

硬度标尺	压头类型	总试验力/N	硬度值有效范围	应用举例
HRC	120°金刚石圆锥体	1 471.0	20 ~ 67 HRC	适用于调质钢、 淬火钢件等
HRB	φ1.588 mm 钢球	980.7	25 ~ 100 HRB	软钢、退火钢、铜合金等
HRA	120°金刚石圆锥体	588.4	60 ~ 85 HRA	硬质合金、表面淬火钢等

洛氏硬度试验的优点是操作简单、迅速,能直接从刻度盘上读出硬度值;压痕较小,可以测定成品极薄的工件;测试的硬度值范围大,可测从很软到很硬的材料。其缺点是压痕较小,当材料的内部组织不均匀时,硬度数据波动较大,使测量值的代表性不足,通常需要在不同部位测试数次,取其平均值来代表材料的硬度。

(3) 维氏硬度。维氏硬度试验原理基本上和布氏硬度试验相同,其试验原理如图1-7所示。将相对面夹角为 136° 的正四棱锥体金刚石压头,以选定的试验力压入试样表面,经规定保持时间后卸除试验力,用测量压痕对角线的长度来计算硬度。即用正四棱锥形压痕单位面积上承受的平均压力代表维氏硬度值,用符号 HV 表示。计算公式如下:

$$HV = 0.1891 \frac{F}{d^2}$$

式中 HV——维氏硬度值;
 F ——试验力 (N);
 d ——压痕两对角线长度算术平均值 (mm)。

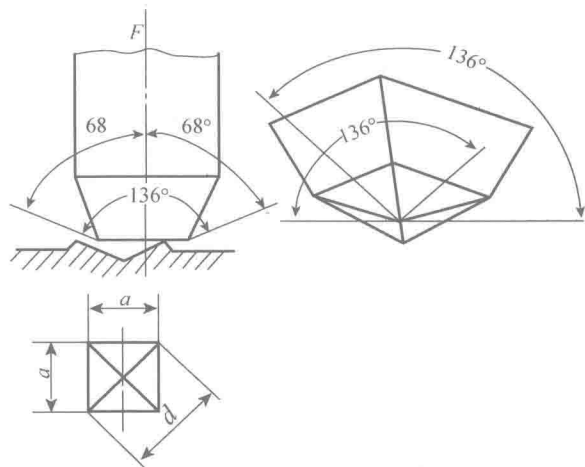


图 1-7 维氏硬度试验原理示意图

在实际工作中,维氏硬度值同布氏硬度一样,不用计算,而是根据压痕对角线长度,从表中直接查出。

维氏硬度试验所用的试验力可根据试件的大小、厚薄等条件进行选择,常用试验力在 49.03 ~ 980.7 N 范围内变动。试验力保持的时间:黑色材料为 10 ~ 15 s;有色材料为 30 ± 2 s。

维氏硬度用符号 HV 表示, HV 前面为硬度值, HV 后面的数字按顺序表示试验条件。例如, 640HV30 表示用 294.2 N (30 kgf) 试验力,保持 10 ~ 15 s (可省略不标)测定的维氏硬度值为 640。

维氏硬度因试验时所加的试验力小,压入深度较浅,故可测量较薄的材料,也可