

中等职业教育机电类专业“十一五”规划教材

金属材料与 热处理知识

中国机械工业教育协会
全国职业培训教学工作指导委员会 组编
机电专业委员会
孙晓旭 编



“工学结合”新理念
“校企合作”新模式
赠送电子教案



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

中等职业学校机电类专业“十一五”规划教材

金属材料与热处理知识

中国机械工业教育协会

全国职业培训教学工作指导委员会 组编

机电专业委员会

孙晓旭 编



机械工业出版社

本教材是为适应“工学结合、校企合作”培养模式的要求,根据中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会组织制定的中等职业教育教学计划大纲编写的。本教材主要内容包括:金属的性能、金属的晶体结构与结晶、金属的塑性变形与再结晶、铁碳合金、钢的热处理、碳素钢与合金钢、铸铁、非铁金属及硬质合金、非金属材料等。

本套教材的公共课、专业基础课、专业课、技能课、企业生产实践配套,教学计划大纲、教材、电子教案(或课件)齐全,大部分教材还有配套的习题集和解答。

本教材可供中等职业技术学校、技工学校、职业高中使用。

图书在版编目(CIP)数据

金属材料与热处理知识/孙晓旭编. —北京:机械工业出版社,2008.1

中等职业教育机电类专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-111-22908-7

I. 金… II. 孙… III. ①金属材料—专业学校—教材②热处理—专业学校—教材 IV. TG1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 182407 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:荆宏智 王晓洁

责任编辑:郁 雷 版式设计:霍永明 责任校对:张 媛

封面设计:马精明 责任印制:杨 曦

北京机工印刷厂印刷(兴文装订厂装订)

2008 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·9.5 印张·226 千字

0 001—4 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-22908-7

定价:16.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379083

封面无防伪标均为盗版

中等职业教育机电类专业“十一五”规划教材

编审委员会

主 任 郝广发 季连海

上麻林園中，長照耕野並豎障蔽興漸茂，築富田金血豎顯耕更，未要田養穀木人堅請

副主任 刘亚琴 周学奎 何阳春 林爱平 李长江 李晓庆

徐 彤 刘大力 张跃英 董桂桥

委 员 (按姓氏笔画排序)

于平 王兆山 王军 王沪均 王德意 方院生

付志达 许炳鑫 杜德胜 李 涛 杨柳青(常务)

杨耀双 何秉戌 谷希成 张正明 张 莉 周庆礼

子广斌 赵木士 郝昂卉 荆安智(党参) 姜方辉

賈恒日 賈 營 徐 刀 左 音 拊 圉 梁 文 使 陰 勛 自

贝旦旦 奚 家 保卫尔 卓振周 宋义伙 喇勋良
苗其其 苗伦健 裁戎增

曾燕燕 冢俊健 戴成增

策划组 荆宏智 徐 彤 何月秋 王英杰

《金属材料与热处理知识》编审人员

编 者 孙晓旭

审者 周生环

“十一五”中等职业学校机电专业教材

序

为贯彻《国务院关于大力发展职业教育的决定》精神,落实文件中提出的中等职业学校实行“工学结合、校企合作”的新教学模式,满足中等职业学校、技工学校和职业高中技能型人才培养的要求,更好地适应企业的需要,为振兴装备制造业提供服务,中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会共同聘请有关行业专家制定了中等职业学校10个专业新的教学计划、大纲,并据此组织编写了这10个专业的“十一五”规划教材。

这套新模式的教材共近70个品种。为体现行业领先的策略,编出特色,扩大本套教材的影响,方便教师和学生使用,并逐步形成品牌效应,我们在进行了充分调研后,才会同行业专家制定了这10个专业的教学计划,提出了教材的编写思路和要求。共有22个省(市、自治区)的近40所学校的专家参加了教学计划大纲的制定和教材的编写工作。

本套教材的编写贯彻了“以学生为根本,以就业为导向,以标准为尺度,以技能为核心”的理念,“实用、够用、好用”的原则。本套教材具有以下特色:

1. 教学计划大纲、教材、电子教案(或课件)齐全,大部分教材还有配套的习题集和习题解答。

2. 从公共基础课、专业基础课,到专业课、技能课全面规划,配套进行编写。

3. 为适应“工学结合、校企合作”的新教学模式,除了在制定教学计划和专业技能课教材的编写时进行了充分考虑外,还编写了第三学年使用的《企业生产实习指导》。

4. 为满足不同地区、不同模式的教学需求,本套教材的部分科目采用了“任务驱动”形式和传统编写方式分别进行编写,以方便大家选择使用;考虑到不同学校对软件的不同要求,《模具CAD/CAM》课程我们选用三种常用软件各编写了一本教材,以供大家选择使用。

5. 贯彻了“实用、够用、好用”的原则,突出“实用”,满足“够用”,一切为了“好用”。教材每单元中均有学习目标,本章小结、复习思考题或技能练习题,对内容不做过高的难度要求,关键是使学生学到干活的真本领。

本套教材的编写工作得到了许多学校领导的重视和大力支持以及各位老师的热烈响应,许多学校对教学计划大纲提出了很多建设性的意见和建议,并推荐教学骨干主动承担教材的编写任务,为编好教材提供了良好的技术保证,在此对各个学校的支持表示感谢。

由于时间仓促,编者水平有限,书中难免存在某些缺点或不足,敬请读者批评指正。

中国机械工业教育协会

全国职业培训教学工作指导委员会

机电专业委员会

前言

本书是为了贯彻《国务院关于大力发展职业教育的决定》精神,落实中等职业学校实行“工学结合、校企合作”的新教学模式,满足中等职业学校的教学要求,更好地适应企业用人需要,根据最新制定的《金属材料与热处理知识》教学大纲的基本要求编写的。本书适合于中等职业技术学校的机械类或近机械类专业学生作为教材使用,也可作为职业技术培训教材或有关人员自学用书。

随着科学技术的迅速发展,对技能型人才的要求也越来越高。作为培养技能型人才的中等职业技术学校,原来传统的教学模式及教材已不能完全适应现今教学的要求。本书采用最新国家标准,根据培养目标的需求,对教材内容进行了适当的调整,补充了一些新知识。注重培养学生具有良好综合素质、实践能力和创新能力,使教材更规范、更实用。本书图文并茂,内容丰富,章前有学习目标,章后有小结,各章均附有复习思考题,供教学参考。

本书由第一汽车集团公司高级技工学校孙晓旭老师编写,由太原高级技工学校周生环老师审稿。在编写过程中得到太原高级技工学校及第一汽车集团公司高级技工学校老师的指导和帮助,在此表示感谢。

由于时间仓促,编者水平有限,书中难免有错误,恳请读者指正。

书中带“*”的章节为选学内容。

编者

目 录

序	
前言	
绪论	1
第一章 金属的性能	3
第一节 金属的力学性能	3
第二节 金属的工艺性能	13
本章小结	14
复习思考题	15
第二章 金属的晶体结构与结晶	16
第一节 金属的晶体结构	16
第二节 纯金属的结晶	18
第三节 金属的同素异构转变	22
本章小结	23
复习思考题	23
*第三章 金属的塑性变形与再结晶	25
第一节 金属的塑性变形	25
第二节 冷塑性变形对金属组织和性能的影响	27
第三节 回复与再结晶	29
第四节 金属的热塑性变形	30
本章小结	32
复习思考题	32
第四章 铁碳合金	33
第一节 合金的组织	33
第二节 二元合金相图	35
第三节 铁碳合金相图	37
本章小结	48
复习思考题	48
第五章 钢的热处理	50
第一节 钢在加热时的转变	50
第二节 钢在冷却时的转变	53
第三节 钢的退火与正火	57
第四节 钢的淬火	59
第五节 钢的回火	62
第六节 表面热处理与化学热处理	64
第七节 热处理新工艺简介	68
第八节 热处理工艺的应用	69
本章小结	72
复习思考题	72
第六章 碳素钢与合金钢	74
第一节 钢的分类与牌号	74
第二节 常存元素对钢性能的影响	76
第三节 合金元素在钢中的作用	77
第四节 结构钢	78
第五节 工具钢	86
第六节 特殊性能钢	92
本章小结	95
复习思考题	95
第七章 铸铁	97
第一节 概述	97
第二节 灰铸铁	99
第三节 可锻铸铁	101
第四节 球墨铸铁	102
第五节 蠕墨铸铁	104
第六节 合金铸铁	106
本章小结	106
复习思考题	107
第八章 非铁金属及硬质合金	108
第一节 铝及铝合金	108
第二节 铜及铜合金	113
*第三节 钛及钛合金	116
第四节 轴承合金	118
第五节 硬质合金	119
本章小结	121
复习思考题	121
*第九章 非金属材料	123
第一节 高分子材料	123
第二节 陶瓷材料	127
第三节 复合材料	129
本章小结	130
复习思考题	131
实验	132
实验1 金属的硬度测试实验	132

实验 2 观察铁碳合金显微组织	134	附录 B 黑色金属硬度及强度换算表	137
附录	136	附录 C 常用钢的临界点	138
附录 A 压痕直径与布氏硬度对照表	136	参考文献	140

绪论

一、本课程的性质及学习目的

本课程是一门研究金属材料的成分、组织、热处理与性能之间关系和变化规律的学科。

学习本课程的目的是使学生掌握有关金属学、热处理的基本理论及金属材料的成分、组织、热处理工艺、性能之间关系及其用途，在学完之后，能够在生产实践中，正确选用金属材料，合理设计零件，初步正确地运用热处理工艺方法，合理安排零件的加工工艺路线。

二、金属材料及热处理的发展史

金属材料的使用在我国具有悠久的历史。我国在公元前 16 世纪就开始使用金属材料。根据大量的出土文物考证，殷商时代，在礼器、生活用具、生产工具、武器等方面已大量使用青铜。如重达 875kg 的司母戊大鼎，不仅体积庞大，而且花纹精巧，造型美观，说明当时人们已具有高超的冶铸技术和艺术造诣。另外我国还是生产铸铁最早的国家，比欧洲早约 2000 多年。如河北武安出土的战国时期的铁铤，经金相检验证明，该材料就是现今的可锻铸铁。

在热处理技术方面，远在西汉时就有“水与火合为粹”；东汉时则有“清水淬其锋”等有关热处理技术的记载。辽阳三道壕出土的西汉钢剑，经金相检验，发现其内部组织为淬火马氏体组织。从河北满城出土的西汉书刀，检验结果发现，其心部为低碳钢组织，表层为高碳层。这些都说明早在 2000 年以前，我国已相继采用了许多热处理工艺，并已具有相当高的水平。

历史证明，我国古代劳动人民在金属材料及热处理技术方面，表现出极大的创造力，为这门学科的发展做出了巨大的贡献。随着科学技术的不断进步，我国在金属材料及热处理方面有了突飞猛进的发展，促进了各行各业的进步，原子弹、氢弹、人造卫星、超导材料、纳米材料、宇宙飞船等重大项目的研究成功，标志着我国在材料及加工工艺达到了一个新的水平。

三、本课程的基本内容及学习方法

1. 基本内容

本课程主要内容包括金属的性能、金属学基础知识、钢的热处理及金属材料等，同时对非金属材料也做了简单介绍。

金属的性能主要介绍力学性能和工艺性能；金属学基础知识讲述金属的晶体结构与结晶、金属的塑性变形、铁碳合金及其相图；钢的热处理主要讲述热处理原理、热处理工艺方法；金属材料讲述碳素钢、合金钢、铸铁、非铁金属及硬质合金等金属材料的牌号、成分、组织、热处理、性能及用途。另外，根据不同专业需要，本书还增加了实验及选学内容，并在章前有学习目标，章后有小结及复习思考题，以帮助学生更好地掌握本课程的基本理论知识。

2. 学习方法

金属材料与热处理是机械制造专业的一门技术基础课，它从实践中发展起来，又直接为

第一章 金属的性能

学习目标 掌握金属材料的力学性能；了解金属材料的工艺性能。重点是金属材料的力学性能。

金属材料的性能包含使用性能和工艺性能两个方面。使用性能是指金属材料在使用条件下所表现出来的性能，它包括物理性能、化学性能、力学性能；工艺性能是指金属材料在制造加工过程中，适应各种冷热加工的性能，如铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能等。

第一节 金属的力学性能

金属的力学性能是指金属在外力的作用下，抵抗变形和破坏的能力。金属材料的力学性能主要有强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度等。金属材料的力学性能是非常重要的，它是评定金属材料质量的主要依据，也是机械零件及工具设计和选材的主要依据。所以熟悉和掌握金属材料的力学性能具有重要的意义。

一、载荷、变形和应力

1. 载荷

零件或工具在加工或使用过程中所受的外力称为载荷。按其作用方式不同，可分为拉伸、压缩、弯曲、剪切、扭转等，如图 1-1 所示。按其作用性质不同可分为静载荷（大小不变或变化缓慢的载荷，如静拉力、静压力等）和动载荷（大小和方向随时间而发生改变的载荷，如冲击载荷、交变载荷等）。

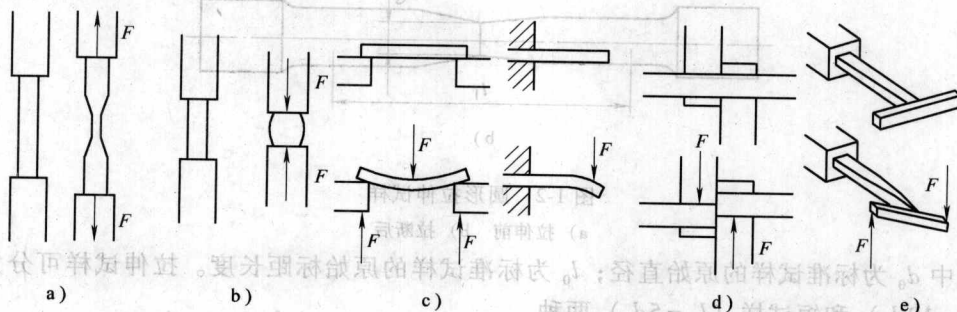


图 1-1 载荷的作用形式

2. 变形

金属材料在外力的作用下所发生的形状和尺寸的变化称为变形。变形分为弹性变形和塑性变形两种。

(1) 弹性变形 是指随载荷的去除而消失的变形。

(2) 塑性变形 也称永久变形,是指不能随载荷的去除而消失的变形。

3. 应力

金属材料受外力作用时,材料内部原子之间相互作用而产生的与外力相对抗的力称为内力。单位面积上内力的大小称为应力,用 σ 表示,其计算公式如下

$$\sigma = F/S$$

式中 F ——外力 (N); (外力的大小等于内力)

S ——面积 (mm^2);

σ ——应力 (MPa)。(1Pa = 1N/m²; 1MPa = 1N/mm²)

二、强度

金属在静载荷的作用下,抵抗塑性变形或断裂的能力称为强度。强度的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、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度和抗扭强度等五种。一般情况下多以屈服点和抗拉强度作为判别强度高低的依据。

抗拉强度和塑性是通过拉伸试验测定的。拉伸试验方法是将被测金属试样装夹在拉伸试验机上,在试样两端缓慢施加轴向拉伸载荷,观察试样的变形情况,同时连续测量外力和相应的伸长量,直至试样断裂。根据测得的数据,即可计算出有关的力学性能。

1. 拉伸试样

拉伸试样的截面形状一般有圆形和矩形两种。在国家标准 (GB/T 228—2002) 中规定,对试样的形状、尺寸及加工要求均有明确的规定。图 1-2 所示为圆形拉伸试样。

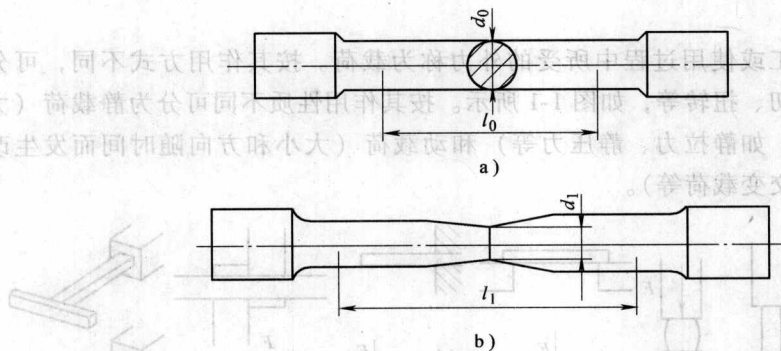


图 1-2 圆形拉伸试样

a) 拉伸前 b) 拉伸后

图中 d_0 为标准试样的原始直径; l_0 为标准试样的原始标距长度。拉伸试样可分为长试样 ($l_0 = 10d_0$) 和短试样 ($l_0 = 5d_0$) 两种。

2. 力-伸长曲线

拉伸试验过程中,拉伸力 F 与伸长量 Δl 之间的关系曲线,称为力-伸长曲线。图 1-3 为低碳钢试样的力-伸长曲线,图中纵坐标表示力 F ;横坐标表示试样伸长量 Δl 。

拉伸试验过程中,会明显地出现以下几个变形阶段:

(1) O_e 为弹性变形阶段 此阶段伸长量与拉伸力成正比。 F_e 为试样弹性变形时的最大载荷。

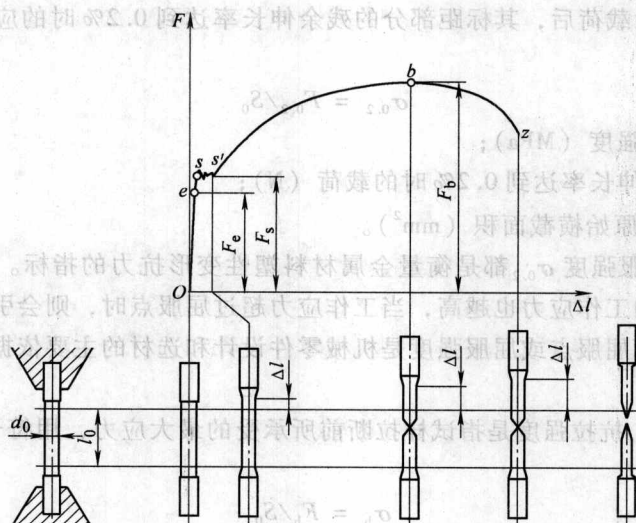


图 1-3 低碳钢试样的力-伸长曲线

(2) e_s 为微量塑性变形阶段 此阶段卸除载荷，绝大多数变形能恢复，少量发生塑性变形。

(3) ss' 为屈服阶段 当拉伸力达到 F_s 时，力-伸长曲线出现水平或锯齿形状，即外力不增加或略有减小的情况下，而变形继续进行，此现象称为屈服现象。拉伸力 F_s 称为屈服载荷。屈服后，材料开始出现明显的塑性变形。

(4) $s'b$ 为强化阶段 当拉伸力超过屈服载荷 F_s 后，欲使试样继续伸长，必须不断加载。随着变形程度的增加，试样变形抗力也随之增加，这种现象称为形变强化（或加工硬化）。此阶段，试样产生均匀的塑性变形。 F_b 为拉伸试样承受的最大载荷。

(5) bz 为缩颈阶段 当拉伸力达到 F_b 时，试样的局部截面开始收缩，称为“缩颈”现象。由于缩颈使试样局部截面积减小，导致试验力随之降低，直至试样在缩颈处断裂，“ z ”为断点。

工程上使用的金属材料，多数没有明显的屈服现象，有些脆性材料，不仅没有屈服现象，而且也不产生缩颈，如铸铁。图 1-4 为铸铁的力-伸长曲线。

3. 强度指标

(1) 屈服点 屈服点是指试样在拉伸试验过程中，载荷不增加（保持恒定），但试样仍然能够继续伸长时的应力称为屈服点，用符号 σ_s 表示。屈服点的计算公式如下

$$\sigma_s = F_s / S_0$$

式中 σ_s ——屈服点 (MPa)；

F_s ——试样屈服时的载荷 (N)；

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

对于无明显屈服现象的材料，国家标准规定，用残余伸长应力 $\sigma_{0.2}$ 表示，也称为屈服强

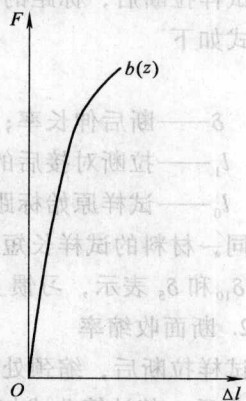


图 1-4 铸铁的力-伸长曲线

度,即表示试样卸除载荷后,其标距部分的残余伸长率达到0.2%时的应力。其计算公式如下

$$\sigma_{0.2} = F_{0.2}/S_0$$

式中 $\sigma_{0.2}$ ——屈服强度 (MPa);

$F_{0.2}$ ——残余伸长率达到0.2%时的载荷 (N);

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

屈服点 σ_s 和屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 都是衡量金属材料塑性变形抗力的指标。材料的屈服点或屈服强度越高,允许的工作应力也越高,当工作应力超过屈服点时,则会引起过量的塑性变形而失效。因此材料的屈服点或屈服强度是机械零件设计和选材的主要依据,也是评定金属材料性能的重要参数。

(2) 抗拉强度 抗拉强度是指试样拉断前所承受的最大应力,用符号 σ_b 表示。其计算公式如下

$$\sigma_b = F_b/S_0$$

式中 σ_b ——抗拉强度 (MPa);

F_b ——试样拉断前所承受的最大载荷 (N);

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

抗拉强度 σ_b 表征材料在静拉力作用下的最大承载能力。零件在工作中所承受的应力,不应超过抗拉强度,否则会导致断裂。所以抗拉强度也是机械零件设计和选材的重要依据。

三、塑性

塑性是指金属材料在断裂前产生塑性变形的能力。通常用断后伸长率和断面收缩率来表示。

1. 断后伸长率

试样拉断后,标距的伸长量与原始标距的百分比称为断后伸长率,用符号 δ 表示。其计算公式如下

$$\delta = (l_1 - l_0)/l_0 \times 100\%$$

式中 δ ——断后伸长率;

l_1 ——拉断对接后的标距长度 (mm);

l_0 ——试样原始标距长度 (mm)。

同一材料的试样长短不同,测得的断后伸长率也不同。长、短试样的断后伸长率分别用符号 δ_{10} 和 δ_5 表示,习惯上 δ_{10} 也写成 δ 。

2. 断面收缩率

试样拉断后,缩颈处横截面积的缩减量与原始横截面积的百分比称为断面收缩率,用符号 ψ 表示。其计算公式如下

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

式中 ψ ——断面收缩率;

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2);

S_1 ——试样拉断后缩颈处的横截面积 (mm^2)。

金属材料的断后伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 数值越大,表示材料的塑性越好。塑性好的材料易于塑性变形加工成复杂形状的零件。例如低碳钢的塑性好,可通过锻压加工成形。另

外, 塑性好的材料, 在受力过大时首先产生塑性变形而不致突然断裂。因此大多数机械零件除要求具有足够的强度外, 还应具有一定的塑性。

四、硬度

硬度是指金属材料抵抗局部变形, 特别是塑性变形、压痕或划痕的能力。

硬度是各种零件和工具必须具备的力学性能指标。机械制造业中所用的刀具、量具、模具等都应具备足够的硬度, 才能保证使用性能和使用寿命。有些机械零件如齿轮、曲轴等, 也要具有一定的硬度, 以保证足够的耐磨性和使用寿命。另外, 硬度是一项综合力学性能指标, 其数值可间接地反映金属的强度及金属在化学成分、金相组织和热处理工艺上的差异, 而与拉伸试验相比, 硬度试验更为简便易行。因此, 硬度试验应用十分广泛, 是金属材料的一项重要的力学性能指标。

测试硬度的方法很多, 常用的有布氏硬度试验法、洛氏硬度试验法和维氏硬度试验法三种。

1. 布氏硬度

(1) 测试原理 使用一定直径的球体 (硬质合金球) 作为压头, 以规定试验力压入试样表面, 经规定保持时间后, 卸除试验力, 然后测量表面压痕直径来计算硬度, 如图 1-5 所示。

布氏硬度值是指球面压痕单位面积上所承受的平均压力。用硬质合金球作为压头时, 用符号 HBW 表示, 其计算公式如下

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

式中 F ——试验力 (N);

S ——球面压痕表面积 (mm^2);

D ——球体直径 (mm);

d ——压痕平均直径 (mm)。

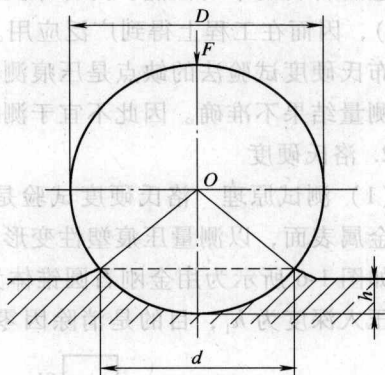


图 1-5 布氏硬度试验原理图

从式中可以看出, 当试验力 F 和压头球体直径 D 一定时, 布氏硬度值仅与压痕直径 d 大小有关。 d 越小, 布氏硬度值越大, 材料硬度就越高, 反之亦然。

在实际应用时, 布氏硬度一般不用计算, 而是用专用刻度放大镜量出压痕直径 d , 再通过查布氏硬度值表, 即可得到相应布氏硬度值, 见附录 A。

(2) 表示方法 一般布氏硬度值不标单位, 只写明硬度的数值。布氏硬度的表示方法按以下顺序书写: 硬度值、布氏硬度符号 HBW、压头球体直径、试验力、试验力保持时间 (10~15s 不标注)。

例如 550HBW5/750, 表示用直径 5mm 的硬质合金球体, 在 7355N (750kgf) 试验力的作用下, 保持 10~15s 时测得的布氏硬度值为 550, 简称为 550HBW。

做布氏硬度试验时, 压头球体直径 D 、试验力 F 及保持时间 t , 应根据被测金属材料的种类、硬度值范围及金属的厚度进行选择, 见表 1-1。

(3) 适用范围及优缺点 布氏硬度主要适用于测定灰铸铁、有色金属、各种软钢等硬度不是很高的材料。

表 1-1 根据材料和布氏硬度范围选择试验条件

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

布氏硬度试验法的特点是试验力大，球体直径也大，因而压痕直径也大，能较准确地反映出金属材料的平均性能。另外布氏硬度与抗拉强度之间存在着一定的近似关系 ($\sigma_b \approx K \cdot HBW$)，因而在工程上得到广泛应用。

布氏硬度试验法的缺点是压痕测量较费时，测量高硬度材料时，由于压头球体本身变形而使测量结果不准确。因此不宜于测成品及较薄件。

2. 洛氏硬度

(1) 测试原理 洛氏硬度试验是采用锥顶角为 120° 金刚石圆锥体或淬火钢球为压头，压入金属表面，以测量压痕塑性变形深度来计算洛氏硬度值。

如图 1-6 所示为用金刚石圆锥体为压头进行洛氏硬度试验原理图。测量时先加初试验力 F_0 ，压入深度为 h_1 ，目的是消除因零件表面不光滑而造成的误差。然后再加主试验力 F_1 ，

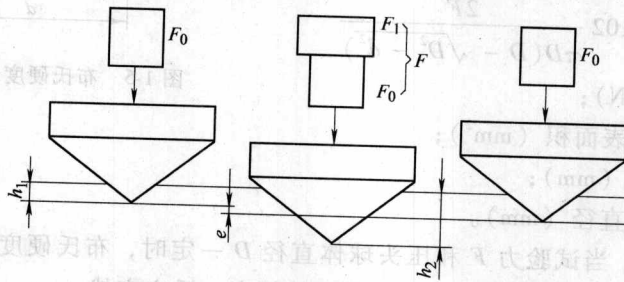


图 1-6 洛氏硬度试验原理图

在总试验力 ($F_0 + F_1$) 作用下，压入深度为 h_2 。卸除主试验力 F_1 ，由于金属弹性变形的恢复，使压头回升到深度为 h_3 位置，则由主试验力 F_1 作用而引起的塑性变形的压痕深度 $e = h_3 - h_1$ ，也称为残余压痕深度增量。显然， e 值越大，被测金属的硬度越低。为符合数值越大，硬度越高的习惯，用一个常数 K (标尺刻度满程) 减去 e 来表示硬度值的大小，并用每 0.002mm 的压痕深度作为一个硬度单位，由此获得洛氏硬度值，用符号 HR 表示。其计算公式如下

$$HR = (K - e) / 0.002$$

式中 K ——常数，用金刚石圆锥体压头进行试验时， K 取 0.2mm ；用钢球压头进行试验

e ——残余压痕深度增量 (mm)。

洛氏硬度没有单位, 试验时硬度值可直接从洛氏硬度计刻度盘上读出。

(2) 常用洛氏硬度标尺及其适用范围 常用的洛氏硬度标尺有 A、B、C 三种, 标注在洛氏硬度符号 HR 后面, 其中 C 标尺应用最广泛。三种洛氏硬度标尺的试验条件和应用范围见表 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	1471.0	20 ~ 67HRC	一般淬火钢件
HRB	φ1.588mm 钢球	980.7	25 ~ 100HRB	软钢、退火钢、铜合金等
HRA	120°金刚石圆锥体	588.4	60 ~ 85HRA	硬质合金、表面淬火钢等

洛氏硬度表示方法是硬度值写在符号 HR 前面, 符号后面注明使用的标尺。如 45HRC 表示用 C 标尺测定的洛氏硬度值为 45。

(3) 优缺点 优点是压痕小, 可用来测成品或较薄工件的硬度; 试验操作简单迅速; 采用不同硬度标尺, 能测量从很软到很硬的各种金属材料。缺点是由于压痕小, 当材料内部组织不均匀时, 硬度值波动较大, 测量结果不能反映被测材料的平均硬度值, 因此在进行洛氏硬度测试时, 需要在不同部位测量数次, 然后取平均值来表示被测金属的硬度。

3. 维氏硬度

(1) 测试原理 如图 1-7 所示, 维氏硬度测试原理与布氏硬度测试原理相同, 将相对面夹角为 136°的金刚石正四棱锥体压头, 以选定的试验力压入试样表面, 经规定的保持时间后卸除试验力, 然后测量压痕对角线的平均长度, 计算出硬度值。维氏硬度是用正四棱锥体压痕单位面积上承受的平均压力表示硬度值。用符号 HV 表示, 其计算公式如下

$$HV = 0.1891 F / d^2$$

式中 F ——试验力 (N);

d ——压痕两条对角线长度的算术平均值 (mm)。

在试验中, 维氏硬度值与布氏硬度值一样, 也可根据测得压痕两条对角线平均长度, 从表中直接查出。

(2) 表示方法及适用范围 维氏硬度常用试验力在 49.03 ~ 980.7N 范围内, 其表示方法与布氏硬度相同, 硬度值写在符号前面, 符号后面写试验条件, 如 642HV30 表示用 294.2N (30kgf) 试验力, 保持 10 ~ 15s 测定的维氏硬度值为 642。再如, 642HV30/20 表示用 294.2N (30kgf) 试验力, 保持 20s 测定的维氏硬度值为 642。

由于维氏硬度试验时, 所用试验力小, 压痕深度较浅, 故可测较薄工件的硬度, 尤其是渗碳、渗氮层的硬度; 另外维氏硬度值具有连续性 (10 ~ 1000HV), 故可测从很软到很硬的各种金属材料的硬度, 且准确可靠。

维氏硬度试验的缺点是测量压痕对角线长度较麻烦, 且对试样表面质量要求较高。

五、冲击韧度

金属材料抵抗冲击载荷作用而不破坏的能力称为冲击韧度。

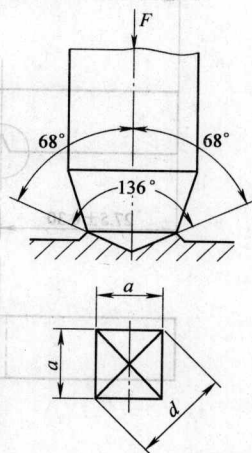


图 1-7 维氏硬度测试原理