



普通高等教育“十三五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU “13·5” GUIHUA JIAOCAI

材料性能学基础 实验教程

郑建军 编著



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn



普通高等教育“十三五”规划教材

材料性能学基础实验教程

郑建军 编著



北京
冶金工业出版社
2019

内 容 提 要

本书内容涵盖材料类专业的专业课程“材料力学性能”和“材料物理性能”的基础实验,主要包括材料力学性能的硬度、冲击、抗弯、磨损、断裂韧性、断口分析,材料物理性能的电学、热学、磁学部分的实验以及工业热电偶检定、动圈式控温仪表的检定等实验项目;在实验内容的编排上,以专业主干课程实验为主体,以材料的组织、结构与性能之间的内在联系为重点。本书共编写了16个实验项目,每个实验包括实验目的、原理概述、实验设备与材料、实验内容与步骤、注意事项、实验报告要求及思考题等内容。在具体安排实验时,可以根据实验大纲、实验条件和实验学时选择性地完成实验内容。

本书可作为材料类专业,如材料科学与工程、无机材料工程、材料物理及相关专业的本科生实验教学用书,也可供有关教师、研究生以及材料类工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料性能学基础实验教程/郑建军编著. —北京:冶金工业出版社, 2019. 4

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5024-8092-9

I. ①材… II. ①郑… III. ①工程材料—结构性能—实验—高等学校—教材 IV. ①TB303-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 061084 号

出版人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcb@cnmp.com.cn

责任编辑 曾 媛 美术编辑 吕欣童 版式设计 禹 蕊

责任校对 李 娜 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-8092-9

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2019年4月第1版,2019年4月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16; 10印张; 241千字; 151页

39.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

材料科学研究的核心是材料的组织、结构与性能的关系，材料的性能是材料研究的根本目标和最终目的。材料性能学实验是在学生学习完材料科学导论、材料科学基础、材料力学性能、材料物理性能等课程后独立开设的实验课程。通过材料性能学实验的学习，使材料工程理论与实践相结合，进一步掌握材料各种性能的基本概念、物理本质、变化规律及性能指标的工程意义，了解影响材料性能的主要因素，掌握材料性能与其化学成分、组织结构之间的关系，基本掌握提高材料性能指标、充分发挥材料性能潜力的主要途径，了解材料性能的测试原理、方法及仪器设备。

同时，为了使學生能够把实际机械零件或构件的材料性能和服役条件、失效现象结合起来，对各种性能指标的物理意义和实用意义有更深入的理解，并掌握其测试方法，明确他们之间的相互关系，分析各种内在因素和外部条件对材料性能指标的影响，故组织编写本实验教程。其目的是为学生毕业后能具有合理使用材料、制定工艺、研制新材料以及能够将数学、自然科学、工程基础和专业知 识用于解决复杂工程问题的能力而打下基础，力求使學生具有自主学习和终身学习的意识，有不断学习和适应发展的能力。

本实验教程是根据材料科学与工程专业《材料力学性能》《材料物理性能》课程的大纲要求，基于现行相关国家标准或最新行业标准，使用标准要求的规范定义、概念、规定符号、试验程序等内容编写的。教材共分为三大部分，16个实验项目，包括了3个综合性实验，1个研究探索性实验。涵盖了材料力学性能的硬度、冲击、抗弯、磨损、断裂韧性、断口分析，材料物理性能的电学、热学、磁学部分的实验以及热工基础的工业热电偶检定、动圈式控温仪表的检定2个实用性强的实验。

本实验教程由太原科技大学郑建军编著，太原科技大学秦凤明老师提供了

部分插图。作者在编写过程中，参考引用了国内的相关教材、专著、期刊及国家标准文献等，在此向本书所引用参考文献的原作者表示敬意和感谢。

本教材的编著和出版得到了山西省服务产业创新学科群项目——“清洁能源与现代交通装备关键材料及基础件”项目的支持与资助，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，所选实验内容不妥之处在所难免，殷切希望专家学者及读者提出宝贵意见，以期改进。

编著者
2019年1月

目 录

第 1 章 材料力学性能实验	1
实验 1 材料硬度实验	1
实验 2 冲击实验	17
实验 3 压痕法在材料学中的应用 I ——压痕法陶瓷材料断裂韧性 K_{IC} 值的测定	24
实验 3 压痕法在材料学中的应用 II ——压痕应变法测定金属材料的残余应力	29
实验 4 金属磨损实验	38
实验 5 陶瓷材料抗弯强度的测定	46
实验 6 断口分析实验	51
第 2 章 材料物理性能实验	64
实验 7 材料阻温特性的测定	64
实验 8 材料绝缘电阻的测定	69
实验 9 绝缘材料介电常数的测定	77
实验 10 压电陶瓷材料压电应变常数 d_{33} 的测定	86
实验 11 固体材料热膨胀系数的测定	91
实验 12 材料导热系数的测量 I ——稳态平板法	100
实验 12 材料导热系数的测量 II ——圆球法测定粒状材料导热系数	106
实验 13 铁磁材料的磁滞回线和基本磁化曲线的测定	111
实验 14 固体材料弹性模量的测定	118
第 3 章 热工基础实验	126
实验 15 工业热电偶的检定	126
实验 16 动圈式控温仪表的检定	135

附录	141
附录 I 常用维氏、布氏、洛氏硬度的换算表	141
附录 II K 型镍铬 - 镍硅 (镍铬 - 镍铝) 热电动势 (JJG 351—84, 参考端温度为 0℃) (mV)	144
附录 III 补偿导线的热电动势的允许误差	149
参考文献	150

第 1 章 材料力学性能实验

实验 1 材料硬度实验

一、实验目的

- (1) 了解各类硬度测定的基本原理、应用范围及选用原则。
- (2) 掌握布氏、洛氏、显微硬度计的主要结构及操作方法。
- (3) 了解材料的类型及热处理状态对硬度的影响。

二、实验原理与装置

硬度试验与轴向拉伸实验一样，也是应用最广的力学性能试验方法。硬度试验的方法很多，大体上可分为弹性回跳法（如肖氏硬度）、压入法（如布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度等）和划痕法（如莫氏硬度）等三类。生产及科学研究中应用最多的是压入法硬度试验。

硬度是金属材料及合金材料机械性能的重要指标，通常指的是一种材料抵抗另一较硬的具有一定形状、尺寸并且本身不发生残余变形的物体压入其表面的能力。硬度是表征材料软硬程度的一种性能，即硬度示值是表示材料软硬程度的数量指标，其物理意义随着试验方法的不同而不同。例如，划痕法的硬度值，主要表征材料抵抗表面局部断裂的能力；回跳法的硬度值，主要表征材料弹性变形功的大小；压入法的硬度值，主要表征材料的塑性变形抗力及应变硬化能力。由于在金属表面以下不同深处材料所承受的应力和所发生的变形程度不同，因而硬度值可以综合地反映压痕附近局部体积内金属的弹性、微量塑性变形抗力、塑性变形强化能力以及大量形变抗力。硬度值越高，表明金属抵抗塑性变形能力越大，材料产生塑性变形就越困难。另外，硬度与其他力学性能指标（如抗拉强度 R_m 、断后伸长率 A 、断面收缩率 Z ）之间存在一定的内在联系，因此说硬度的大小对机械零件的使用寿命具有重要意义。

硬度试验一般只在材料表面局部体积内产生很小的压痕，因而很多机器零件可在成品上试验，无须专门加工试样，同时又能敏感地反映材料的化学成分和组织结构的差异，因而得到广泛的应用。在工厂和实验室广泛使用压入法来测定硬度，按压头的类型和几何形状等不同，压入法又分为布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度等（布氏、洛氏、维氏硬度换算表见后附录 I）。

压入法硬度试验具有几个特点：

- (1) 设备简单，操作方便迅速。
- (2) 适用范围广，不论是塑性材料还是脆性材料均能发生塑性变形。
- (3) 在一定意义上可用硬度试验结果表征其他力学性能指标。金属的硬度与强度指

标之间存在如下近似关系:

$$R_m = K \cdot HB \quad (1-1)$$

式中, R_m 为材料的抗拉强度; K 为系数; HB 为布氏硬度。

退火状态的碳钢: $K = 0.34 \sim 0.36$; 合金调质钢: $K = 0.33 \sim 0.35$; 有色金属合金: $K = 0.33 \sim 0.53$ 。部分金属材料的换算关系见表 1-1。

表 1-1 部分金属材料的换算关系

材 料	布氏硬度值	近似换算关系
钢	125 ~ 175	$R_m \approx 0.343HB \times 10MN/m^2$
	> 175	$R_m \approx 0.363HB \times 10MN/m^2$
铸铝合金		$R_m \approx 0.26HB \times 10MN/m^2$
退火黄铜、青铜		$R_m \approx 0.55HB \times 10MN/m^2$
冷加工后的黄铜、青铜		$R_m \approx 0.40HB \times 10MN/m^2$

另外, 硬度值对材料的耐磨性、疲劳强度等性能指标也有参考价值, 通常材料硬度越高, 其对应的这些性能也越好。因此, 在工程设计图纸上对材料性能指标的要求, 往往只标注硬度值。

(一) 布氏硬度试验

布氏硬度试验主要用于黑色、有色金属原材料检验, 也可用于退火、正火状态的钢铁零件的硬度值测定。

1. 基本原理

布氏硬度试验是用一定直径 D (mm) 的钢球或硬质合金球为压头, 施以一定的试验力 F (kgf 或 N), 将其压入试样表面, 保持一定时间后卸除载荷, 试样表面将残留压痕。测出试样表面压痕直径 d , 计算出压痕球形面积, 再根据下式计算出单位面积上所受的力, 即为布氏硬度值:

$$HBW = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1-2)$$

式中 HBW ——布氏硬度值;

F ——通过球形压头施加在试样表面上的试验力, N;

D ——球形压头的直径, mm;

d ——相互垂直方向测得的压痕直径 d_1 、 d_2 的平均值, mm。

金属布氏硬度试验原理如图 1-1 所示。

2. 布氏硬度的表示方法

依据国标 GB/T 231.1—2009, 在 HBW 之前书写硬度值, 符号后依次为球直径、施加的试验力及保持时间。如 $600HBW1/30/20$ 表示用 1mm 的硬质合金球, 在 30kgf (或 294.2N) 试验力下保持 20s 所测得的布氏硬度值为 600。当

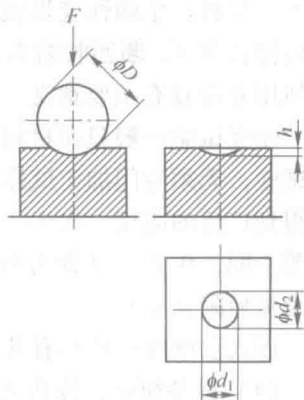


图 1-1 布氏硬度试验原理示意图

保持时间为 10 ~ 15s 时可不标注。例如, 50HBW5/750 表示用直径为 5mm 的硬质合金球, 在 750N 载荷作用下保持 10 ~ 15s 测得的布氏硬度值为 50。

3. 试验力的选择

由于压头的材料不同, 因此布氏硬度值用不同的符号表示, 以示区别。当压头为淬火钢球时, 其符号为 HBS (适用于布氏硬度值在 450 以下); 当压头为硬质合金球时, 其符号为 HBW (适用于布氏硬度值为 450 ~ 650 的材料)。

布氏硬度试验用的压头直径 D 有 10mm、5mm、2.5mm、2mm 和 1mm 五种。主要根据试样厚度来选择, 应该满足压痕深度小于试样厚度 $1/10$ 的条件。当试样厚度足够时, 应尽可能选用直径为 10mm 的压头。布氏硬度试验的 F/D^2 的比值有 30、15、10、5、2.5、1.25 和 1 七种。主要根据试验材料的种类及硬度范围来选择。试验力的选择应保证压痕直径在 $0.24D \sim 0.6D$ 之间, 试验力 - 压头球直径平方的比率 ($0.102F/D^2$ 比值) 应根据材料和硬度值选择, 见表 1-2。

表 1-2 不同材料的试验力 - 压头球直径平方的比率

材 料	布氏硬度 HBW	试验力 - 压头球直径平方的比率 ($0.102F/D^2$)/ $N \cdot mm^{-2}$
钢、镍合金、钛合金		30
铸铁	<140	10
	≥ 140	30
铜及铜合金	<35	5
	35 ~ 200	10
	>200	30
轻金属及合金	<35	2.5
	35 ~ 80	5
		10
		15
	>80	10
	15	
铅、锡		1

注: 对于铸铁试验, 压头的名义直径为 2.5mm、5mm、10mm。

一般钢铁材料只选择 $0.102F/D^2 = 30$ 一个值。为了保证在尽可能大的有代表性的试样区域试验, 应尽可能选取大直径压头, 当试样尺寸允许时, 应优先选用直径 10mm 的球压头试验, 因为这样最能体现布氏硬度计的特点。对于较薄、较小的试样, 应选用较小的压头和较小的试验力。以保证满足布氏硬度试验关于“试样厚度应大于压痕深度的 8 倍”的要求。上述选择之后应进行初步试验, 确定压痕直径是否满足 $0.24D < d < 0.6D$ 。如果满足这一要求, 就可进行正式测试, 并查表得到布氏硬度值。如果不满足这一要求, 当压痕直径小于 $0.24D$ 时, 说明压痕过小, 应重新选择大一些的试验力。当压痕直径大于 $0.6D$ 时, 说明压痕过大, 应重新选择小一些的试验力。

布氏硬度试验的特点是试验时金属材料表面压痕大，能在较大范围内反映被测金属材料的平均硬度，测得的硬度值比较准确，数据重复性强。但由于压痕大，对金属材料表面的损伤较大，不宜测定太小或太薄的试样。

4. 布氏硬度计的结构及操作

HB-3000B 型布氏硬度计是由机身、试台、大小杠杆、减速器及电子控制系统等部分组成，其测量原理与普通硬度计的基本相同，所不同的是加载、卸载和保持时间由电子系统中的继电器、集成电路板、启动按钮和限位开关等共同控制电动机完成的，其工作原理如图 1-2 所示。

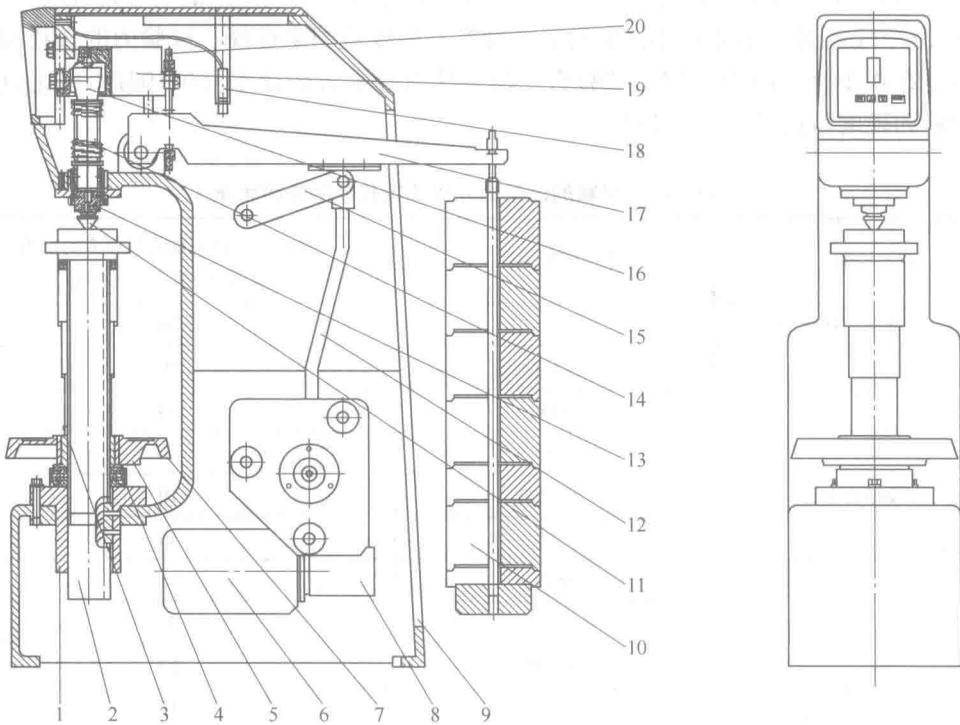


图 1-2 HB-3000B 型布氏硬度计结构

- 1—丝杠座；2—丝杠；3—保护罩；4—螺母；5—定位器；6—电机；7—转动手轮；8—减速机；
9—机身；10—砝码；11—压头；12—连杆；13—主轴；14—弹簧；15—叉形摇杆；
16—大杠杆；17—压轴；18—接近开关；19—小杠杆；20—吊环

当按下设备的启动按键“START”时，继电器吸合，使电动机启动，同时试验加载指示灯亮（加载），减速器带动曲柄逆时针方向旋转，连杆与摇杆下移，与大杠杆脱离。此时，试验力施加到压头上，同时，保持试验力指示灯亮（保持），电动机停转。当试验力保持时间到，继电器吸合通电，电动机反向旋转，卸除试验力指示灯亮（卸载），连杆和摇杆重新抬起大杠杆，将试验力卸除。此时，大杠杆触动机身后限位开关，将电动机关闭。

(1) 安装压头与工作台：按规定选择压头，用无酸汽油清洗其钢球黏附的防锈油，用棉花或质地较软的纱布擦拭干净后装入主轴衬套内，放置紧固螺钉使其轻轻压于压头杆

部的固定扁平处，然后将工作台安装在丝杠上，再将试样平稳地放在工作台上。此时转动手轮，使工作台缓慢上升，试样与压头接触直至手轮与螺母产生相对滑动，最后将压紧螺钉紧固于压头杆部的固定扁平处。

(2) 选择试验力：按规定选择试验力，选用的试验力为 1839N 时，将砝码吊架挂在大杠杆尾部刀刃上即可；若加上 62.5kg 的砝码，就形成了 2452N 的负荷；若再加上 500kg 的砝码，便形成了 7355N 的试验力……以此类推。

(3) 试验力的保持时间的选择：首先了解硬度计的操作面板各部分功能。操作面板有设置键、确认键、选择键、显示窗口等，如图 1-3 所示。打开电源开关，接通电源，此时电源指示灯亮。

“SET” 设置键用于选择挡位：试验力保持时间有 0、1、2 三种挡位，对应的默认保持时间分别是 12s、30s、60s。连续按动操作面板的“SET” 键，试验力保持时间可在 0、1、2 三种挡位之间选择，操作面板的显示窗口有相应的挡位及时间提示。

“START” 确认键用于确认选择挡位和开始试验。选择挡位完毕，10s 后，设备自动确认，也可按动“START” 键强制确认。

“ Δ ” 选择键可调整每种挡位默认的保持时间，10s 后，设备自动确认，也可按动“START” 键强制确认。显示窗口显示相应的挡位、时间提示及试验进程。

(4) 试验程序：将试样放在试验台上，转动手轮，使试验台缓慢上升，试样与压头接触直至手轮与螺母产生相对的滑动（打滑）为止，此时试样已加初载荷 98.07N。按动启动按键“START”，硬度计即可自动完成一个工作循环。

(5) 检验并确定试验结果：试验结束后，逆时针转动手轮降下工作台，取下试样，用读数显微镜测量试样表面的压痕直径，并将测得的结果查表确定试样的硬度值。

(6) 读数显微镜：本硬度计所带的读数显微镜为 20 倍。鼓轮最小刻度值为 0.01mm，使用时应合理利用光源，通常以中午的自然光为宜，若在灯光下读数应注意光线对压痕直径大小的影响，如图 1-4 所示。

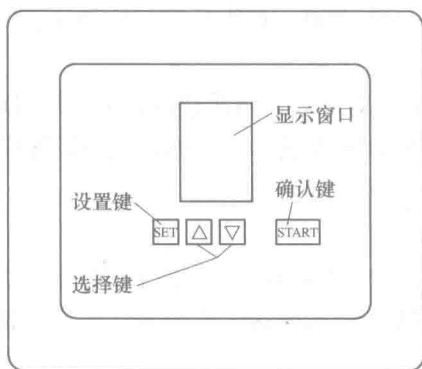


图 1-3 操作面板示意图

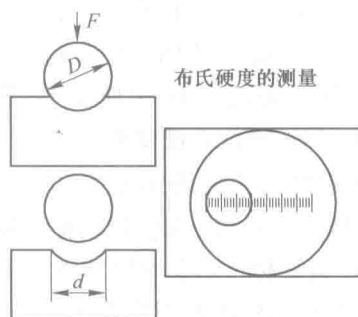


图 1-4 读数显微镜测量示意图

（二）洛氏硬度试验

洛氏硬度试验的原理与布氏硬度不同。它不是以测定压痕的面积来计算硬度值，而是以测定压痕的深度来表示材料的硬度值。主要用于金属测量热处理后的产品检验。

1. 基本原理

洛氏硬度试验所用的压头分为圆锥角为 120° 的金刚石圆锥体、一定直径 (1.5875mm) 钢球或硬质合金球, 依据国家标准 GB/T 230.1—2009 《金属材料 洛氏硬度试验》, 按照图 1-5 和图 1-6 所示分两个步骤压入试样表面, 经过规定的保持时间后, 卸掉主加载荷力, 测量在初始载荷力下的残余压痕深度 h 。

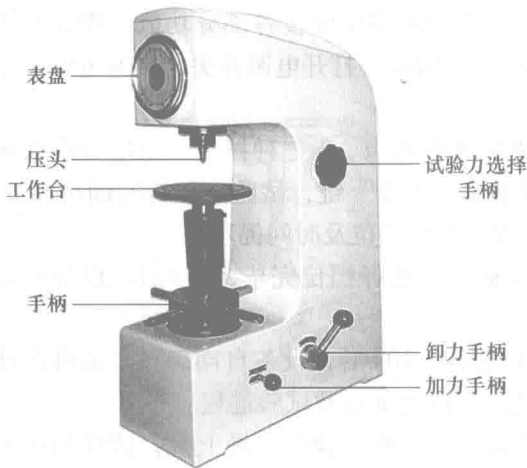


图 1-5 洛氏硬度计外形图

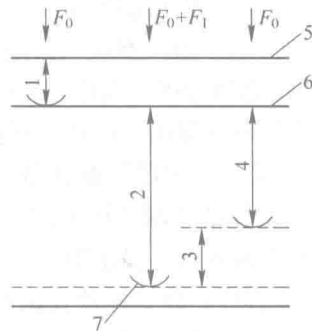


图 1-6 洛氏硬度计测试原理图

1—在初始载荷力 F_0 下的压入深度; 2—在总施加载荷力 $F_0 + F_1$ 下的压入深度; 3—去除主加载荷力 F_1 后的弹性回复深度; 4—残余压入深度 h ; 5—试样表面; 6—测量基准面; 7—压头位置

根据 h 值及常数 N 和 S , 用式 (1-3) 计算洛氏硬度:

$$\text{洛氏硬度} = N - h/S \quad (1-3)$$

式中 N ——常数, 对于 A、C、D、N、T 标尺, $N = 100$; 其他标尺, $N = 130$;

h ——残余压痕深度, mm;

S ——常数, 对于洛氏硬度, $S = 0.002\text{mm}$; 对于表面洛氏硬度, $S = 0.001\text{mm}$ 。

每一洛氏硬度单位对应的压痕深度, 洛氏硬度为 0.002mm , 表面洛氏硬度为 0.001mm 。压痕越浅, 硬度越高。

2. 洛氏硬度值的表示方法

洛氏硬度符号 HR 和使用的标尺字母 (A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T) 表示。

A、C 和 D 标尺洛氏硬度用硬度值、符号 HR 和使用的标尺字母表示。如 58HRC 表示用 C 标尺测得的洛氏硬度值为 58。

B、E、F、G、H 和 K 标尺洛氏硬度用硬度值、符号 HR、使用的标尺和球压头代号 (钢球为 S, 硬质合金球为 W) 表示。如 55HRBW 表示用硬质合金球压头在 B 标尺上测得的洛氏硬度为 55。洛氏硬度计硬度标尺技术条件见表 1-3。

3. 洛氏硬度标尺的试验范围和适用范围

洛氏硬度标尺的试验范围和适用范围见表 1-4。

表 1-3 洛氏硬度计硬度标尺技术条件

洛氏硬度标尺	硬度符号	压头类型	初始载荷力 F_0/N	主加载荷力 F_1/N	总载荷力 $F_0 + F_1/N$	适用范围
A	HRA	120°金刚石圆锥	98.07	490.3	588.4	20~88HRA
B	HRB	1.5875mm 钢球	98.07	882.6	980.7	20~100HRB
C	HRC	120°金刚石圆锥	98.07	1373	1471	20~70HRC
D	HRD	120°金刚石圆锥	98.07	882.6	980.7	40~77HRD
E	HRE	3.175mm 钢球	98.07	882.6	980.7	70~100HRE
F	HRF	1.5875mm 钢球	98.07	490.3	588.4	60~100HRF
G	HRG	1.5875mm 钢球	98.07	1373	1471	30~94HRG
H	HRH	3.175mm 钢球	98.07	490.3	588.4	80~100HRH
K	HRK	3.175mm 钢球	98.07	1373	1471	40~100HRK

表 1-4 洛氏硬度标尺的试验范围和适用范围

标尺	硬度值符号	压头类型	总载荷/kgf(N)	测量范围	适用范围
A	HRA	金刚石圆锥	60 (588.4)	20~88HRA	硬质合金、表面硬化层、渗碳层
B	HRB	直径 1.5875 球	100 (980.7)	20~100HRB	铜合金、软钢、铝合金、可锻铸铁
C	HRC	金刚石圆锥	150 (1471.1)	20~70HRC	较硬金属, 如淬火钢、调质钢
D	HRD	金刚石圆锥	100 (980.7)	40~77HRD	薄钢、中等硬度钢、珠光体、可锻铸铁
F	HRF	直径 1.5875 球	60 (588.4)	60~80HRF	退火铜合金、薄、软金属
G	HRG	直径 1.5875 球	150 (1471.1)	30~94HRG	磷青铜、铜铍合金、铝、锌、铅

上述洛氏硬度的标尺中, 以 HRC 应用最多, 一般经淬火处理的钢或工具都采用 HRC 测量。在中等硬度情况下, 洛氏硬度 HRC 与布氏硬度 HBS 之间的相互关系, 近似为 1:10。如 40HRC 相当于 400HBS。如 50HRC, 表示用 HRC 标尺测定的洛氏硬度值为 50。硬度值应在有效测量范围内 (HRC 为 20~70) 为有效。

4. 洛氏硬度计的结构及其操作使用方法

常用的 HR-150A 型洛氏硬度计的结构如图 1-7 所示, 其操作使用方法如下所述:

(1) 试件的准备: 试件的厚度应当不小于 10 倍压痕的深度, 试件表面应平坦光滑, 并且不应有氧化皮及外来污物, 尤其不应有油脂, 试样的表面应能保证压痕深度的精确测量。建议试样的表面粗糙度 R_a 不大于 $1.6\mu\text{m}$ 。试样的测试面、支承面及工作台面应保持清洁。试样平稳地放置在工作台上, 在试验过程中不应发生移动现象。

试样的制备应使受热或冷加工等因素对试样表面硬度的影响减至最小。尤其对于残余压痕深度浅的试样应特别注意。

试验后, 试样的支承面上不得有明显的变形痕迹。其最小厚度取决于材质及所采用的载荷, 可参考表 1-5。

试样的测试面一般为平面, 如果对曲面试样进行试验, 其曲率半径不大时, 试验结果应修正。

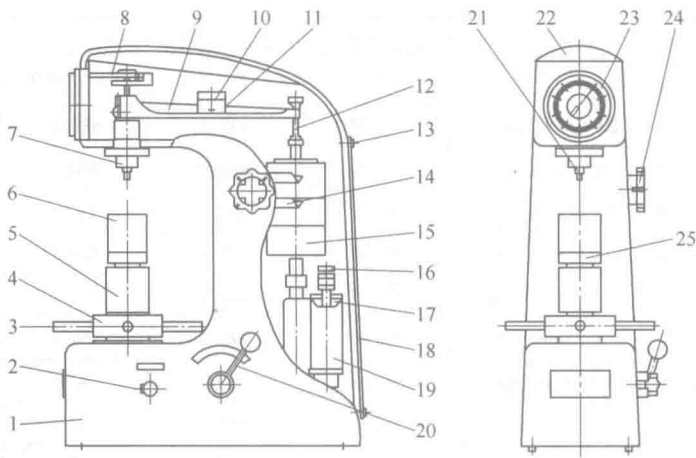


图 1-7 HR-150A 洛氏硬度计的结构简图

- 1—机身；2—加荷手柄；3—升降手把；4—手轮；5—丝杠保护套（内有丝杠）；6—待测试件；7—主轴；
8—小杠杆；9—大杠杆；10—调整块；11—定位标记；12—吊环；13—螺钉；14—砝码变换架；
15—砝码；16—油针；17—油毡；18—后盖；19—缓冲器；20—卸荷手柄；21—压头；
22—上盖；23—指示表；24—变荷手柄；25—工作台

表 1-5 试样最小厚度

标尺	硬度值 HR	最小厚度/mm	标尺	硬度值 HR	最小厚度/mm
A	70	0.7	B	80	1.0
	80	0.5		90	0.8
	90	0.4		100	0.7
B	25	2.0	C	20	1.5
	30	1.9		30	1.3
	40	1.7		40	1.2
	50	1.5		50	1.0
	60	1.3		60	0.8
	70	1.2		70	0.7

(2) 试验台的选择与安装：应根据被试零件的形状及大小按本机所备的试验台选择，选好试验台后装于丝杠上端的 $\phi 20H7$ 孔中将试验台表面擦拭干净。必须保证所施加的载荷力垂直作用于测试面。对于弯曲形状及其他不规则形状的试样，必须采用相应类型的专用工作台，并选择正确的试验位置，如对圆柱试样，必须采用“V”形工作台；对于中空的试样，要避免施加载荷造成的变形，否则有可能影响测得的硬度值。

(3) 主加载荷力的选择与变换：硬度计的砝码共有三个，分别标记为 A、B、C，主加载荷力的变换是用挂砝码的方法（或挡位拨盘）进行的，载荷力的变换应在硬度计处于卸载状态，且压头与试件不接触时进行，否则，有可能使压头损坏。

主加载荷力是根据所选用的标尺来确定的，如选用 HRA 标尺应使用 A 砝码，总的载荷力为 588.4N (60kgf)；如选用 HRB 标尺，主加载荷力为 A、B 砝码质量之和，即

980.7N(100kgf);如选用HRC标尺,主加载荷力为A、B、C砝码质量之和,即1471N(150kgf)。

(4) 压头的安装:压头在安装前应擦拭干净,不得有油污和其他污物,擦干净后把压头放在压头套里内,并用螺钉轻轻预紧。

(5) 将被测试零件擦干净放在试验台上,应使试件与试验台表面紧贴,然后旋转手轮使试件上升与压头接触,并继续旋转手轮施加初始载荷力至指示表23的小针指于红点处,大指针应顺时针旋转三圈垂直向上,并指于标记B和C处(允许相差 ± 5 个刻度,若超过5个刻度,此点应作废,重新试验)。

(6) 转动指示表23刻度盘,使指针对准B和C处(顺时针或逆时针旋转均可)。

(7) 按照加载标牌的加力方向,向硬度计机身前面方向缓慢(4s左右)拉动加荷手柄2至左侧极限位置,加上主加载荷力。这时,可见指示器的长指针转动直至指针转动变慢到停止,保持时间 $4s \pm 3s$,即可将卸载手柄20按标牌指示方向缓慢(2~3s)推回至手柄极限位置,卸除主载荷力。施加主载荷力时,应均匀平稳,不得有冲击和震动。

(8) 从指示表23上相应的标尺读数(采用金刚石压头试验时,按表盘外圈的黑色数字读取,采用球压头试验时,按表盘内圈的红色数字读取)。逆时针方向转动手轮使试件下降,直到样品的测试表面离开压头,再移动试件,按以上过程进行新的试验。注意移动过程中,试件支承底面不能离开试验台上表面。

(9) 注意:两相邻压痕中心之间的距离至少应为压痕直径的4倍,并且不应小于2mm。任一压痕中心距试样边缘的距离至少应为压痕直径的2.5倍,并且不应小于1mm。对同一试件,最好在不同的部位进行不少于3次的试验,取其平均值,以便能可靠地查明其实际情况。

(三) 维氏硬度计

布氏硬度试验法存在钢球变形问题,这就决定了它不能用于测量高硬度材料;洛氏硬度试验法虽可测定各种金属硬度,但需采用不同的标度,不同的标度测定的硬度值又不能直接换算,因此1925年英国维克斯公司的R.史密斯(Smith)和G.桑德来德(Sand-Land)提出了维氏硬度试验法。

1. 实验原理与装置

维氏硬度和布氏硬度测量原理相同,都以试件压痕单位面积所受力来表示硬度的大小。在国家标准GB/T 4340.1—2009《金属材料维氏硬度试验 第1部分:试验方法》中描述为维氏硬度值与试验力除以压痕表面积的商成正比,压痕被视为具有正方形基面并与压头角度相同的理想形状。不同的是,维氏法的压头采用锥角为 136° 的金刚石正四棱锥的锥体。如图1-8所示,这时压入角 Φ 恒定不变,使得载荷改变时,压痕的几何形状相似,因此在维氏硬度试验中,载荷可以随意的选择,而所得的硬度值相同,这就是维氏硬度试验的主要特点,也是最大的优点。正四棱锥体之所以选取 136° 的锥面夹角,是为了使所测数据与HB值能得到最好的配合。

因为一般布氏硬度试验时,压痕直径 d 多半在 $(0.25 \sim 0.5)D$ 之间,取平均值 $0.375D$,这时布氏硬度的压入角 $\Phi = 44^\circ$,而锥面夹角为 136° 的正四棱锥形压痕的压入角也等于 44° ,所以在中低硬度范围内,维氏硬度与布氏硬度值接近。

此外采用金刚石正四棱锥体后,压痕为一具有清晰轮廓的正方形,在测量压痕对角线

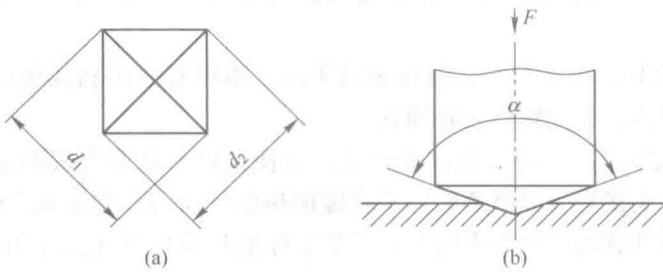


图 1-8 维氏显微硬度试验原理图

(a) 维氏硬度压痕；(b) 压头（金刚石锥体）

长度 d 时误差较小，同时不存在压头变形问题，适用于任何硬度材料。维氏硬度值用 HV 表示，其值为：

$$HV = 0.102 \times \frac{F}{S} = 0.102 \times \frac{2F \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 0.102 \times \frac{1.8544F}{d^2} = 0.1891 \times \frac{F}{d^2} \quad (1-4)$$

式中 HV——维氏硬度， N/mm^2 ；

F ——试验力，N；

S ——压痕面积， mm^2 ；

d ——压痕对角线长度，mm；

α ——压头相对面夹角，取 136° 。

当试验力的单位采用 kgf 时，维氏硬度值的表达式为：

$$HV = 1.8544 \frac{F}{d^2} \quad (1-5)$$

由上式可以看出，只要量出压痕对角线长度 d ，即可求得 HV 值，或通过查表获得 HV 值。

由于维氏硬度的负荷可以任意选择而不影响硬度的测定，因此不难得知，若将维氏硬度试验载荷不是以 kgf 为单位，而是以减小到千分之一的 gf 为单位，那么便可测定在一个极小范围内，如个别夹杂物或其他组成相的维氏硬度值，这就是微观维氏硬度试验，一般称作显微硬度试验。

2. 硬度表示法

HV 前面的数值为硬度值，后面则为试验力，如果试验力保持时间不是通常的 10 ~ 15s，还需在试验力的值后标注保持时间。如 600HV30/20——采用 30kgf 的试验力，保持 20s，得到硬度值为 600。

3. 样品要求

虽然维氏硬度既可以测量较软的材料，又可以测量较硬的材料，但它对试样同样有着自己的要求。只有选择合适的试样，才能避免由此带来的误差，得到准确的维氏硬度值。

维氏硬度试样外表要求表面应光滑平整，不能有氧化皮及杂物，尤其不能有油脂。试样表面的质量应保证压痕对角线长度的测量精度，建议试样表面进行表面抛光处理。一般的，维氏硬度试样表面粗糙度参数 R_a 不大于 $0.40\mu m$ ，小负荷维氏硬度试样不大于 $0.20\mu m$ ，显微维氏硬度试样不大于 $0.10\mu m$ 。