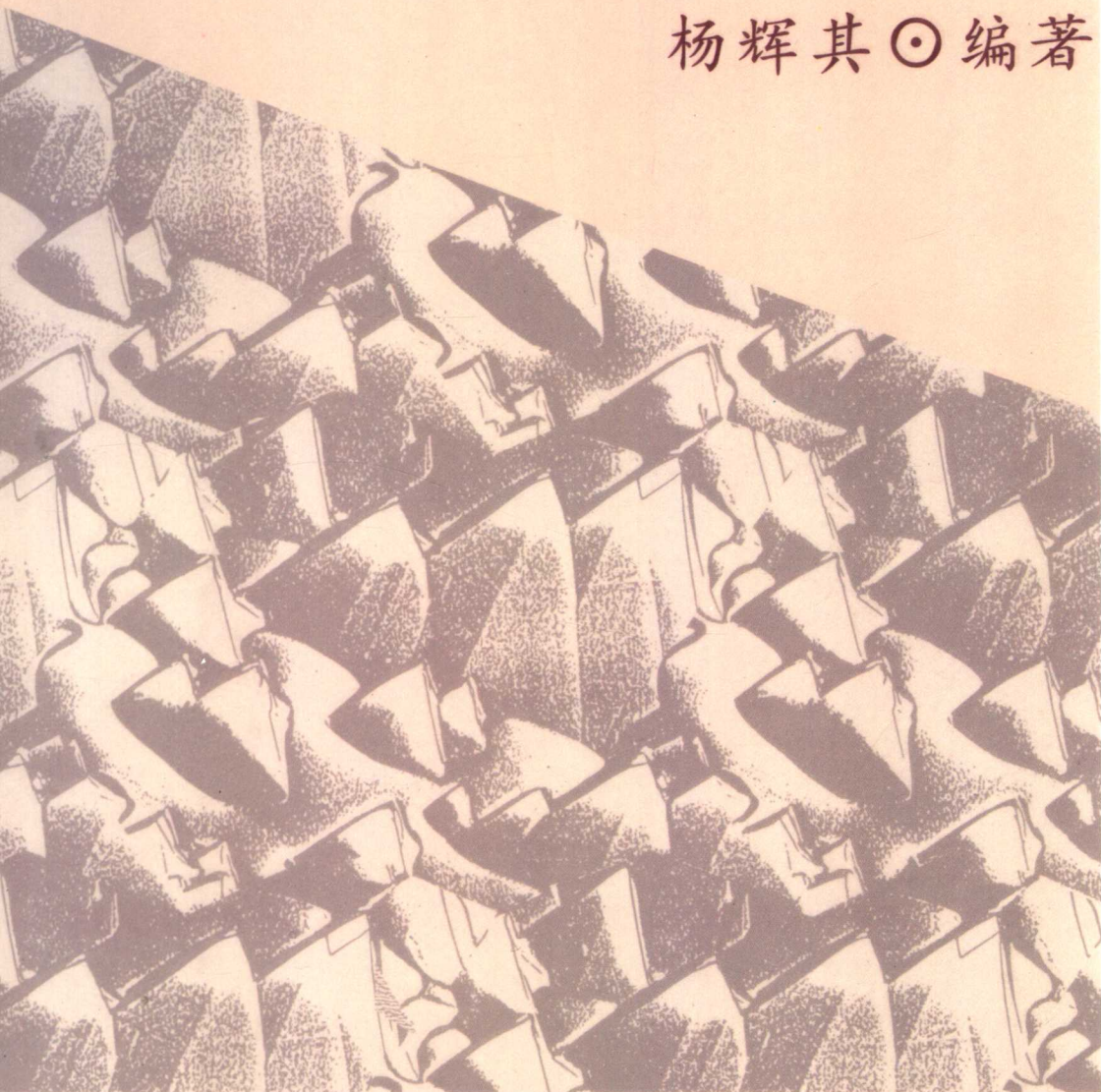


新编金属硬度试验

杨辉其◎编著



JINSHU YINGDU SHIYAN



中国计量出版社

CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE



新编金属硬度试验

杨辉其 编 著

中国计量出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

新编金属硬度试验/杨辉其编著. —北京: 中国计量出版社, 2005

ISBN 7-5026-2233-0

I. 新… II. 杨… III. 金属—硬度试验 IV. TG115.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 123709 号

内 容 提 要

本书共分九章, 介绍了最常用的布氏、洛氏、表面洛氏、维氏、显微维氏、努氏、肖氏及里氏硬度等硬度试验的一些基本知识, 包括试验原理、试验方法、各种硬度试验的必要条件、各自的特点及应用。简述了各种硬度计的结构, 着重说明了各种试验方法的误差来源, 怎样保证硬度量值的准确一致和正确地进行硬度试验等。

附录中提供了各种硬度数值表、换算表等资料, 以供查阅使用。

本书可供计量部门和厂矿企业的硬度计量、检验、材料测试及工程设计等人员参考。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话 (010) 64275360

<http://www.zgjl.com.cn>

北京市迪鑫印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

787 mm×1092 mm 16 开本 印张 13.25 字数 317 千字

2005 年 11 月第 1 版 2005 年 11 月第 1 次印刷

*

定价: 32.00 元

前 言

硬度试验是材料机械性能试验中最简单、迅速和易于实施的方法，是检验产品质量、确定合理的加工工艺的主要手段之一，在生产和科研中，尤其是在机械制造、冶金工业及材料科学研究中得到广泛应用。因此，保证硬度量值的准确一致和测试仪器的正确使用，对于提高产品质量、保障安全生产、提高劳动效率和降低原材料消耗都具有重要的作用。

我国已经建立了常用的硬度基准、标准；量值传递系统已经形成；硬度计量仪器生产具有一定的规模；计量测试队伍不断壮大。为了帮助初学者系统地学习硬度计量测试知识，在已经出版的《金属硬度试验》（1983版）基础上，根据近年来的技术进步和发展，编写了这本《新编金属硬度试验》。

本书共分九章，分别介绍了布氏、洛氏、表面洛氏、维氏、显微维氏、努氏、肖氏、里氏和其他硬度试验的试验原理、试验条件、误差来源，以及各种硬度计的结构原理、正确使用和维护、检定等内容。附录中还提供了各种硬度数值表及换算关系表等资料。

作者期望本书能给读者以帮助，但由于本人理论水平和实践经验所限，书中必然存在不少错误和不足，欢迎读者提出宝贵的意见。

在本书的编著过程中得到了中国计量科学研究院硬度室主任何力高级工程师、周培贤高级工程师等的支持和帮助，在此表示感谢！

编著者

2005.10

目 录

概 述	(1)
第一章 布氏硬度试验	(3)
第一节 布氏硬度试验原理及特点	(3)
第二节 布氏硬度试验条件及规则	(7)
第三节 布氏硬度试验误差来源	(12)
第四节 布氏硬度计的检定与正确使用	(18)
第二章 洛氏硬度试验	(22)
第一节 洛氏硬度试验原理及其特点	(22)
第二节 洛氏硬度试验条件及规则	(26)
第三节 洛氏硬度试验误差来源	(32)
第四节 洛氏硬度计的检定及正确使用	(37)
第三章 表面洛氏硬度试验	(41)
第一节 表面洛氏硬度试验及其特点	(41)
第二节 表面洛氏硬度试验条件及规则	(42)
第三节 表面洛氏硬度试验误差来源	(46)
第四节 表面洛氏硬度计的检定及正确使用	(51)
第四章 维氏硬度试验	(53)
第一节 维氏硬度试验原理及其特点	(53)
第二节 维氏硬度试验条件	(56)
第三节 维氏硬度试验误差来源	(63)
第四节 维氏硬度计的检定及正确使用	(67)
第五章 显微硬度试验	(69)
第一节 显微硬度试验的特点及应用	(69)
第二节 显微硬度试验条件	(72)
第三节 显微硬度试验误差来源	(74)
第四节 显微硬度计的检定及正确使用	(80)
第六章 努氏硬度试验	(83)
第一节 试验原理	(83)
第二节 试验方法	(84)
第三节 试验装置	(85)
第四节 努氏硬度的特点与应用	(87)
第五节 标准努氏硬度块的检定	(89)
第七章 肖氏硬度试验	(90)
第一节 肖氏硬度试验原理	(90)

第二节	肖氏硬度试验	(91)
第三节	肖氏硬度试验误差分析	(93)
第四节	肖氏硬度计的正确使用和检定	(95)
第八章	里氏硬度试验	(99)
第一节	里氏硬度试验原理	(99)
第二节	里氏硬度试验	(101)
第三节	里氏硬度计的正确使用与检定	(104)
第九章	其他硬度试验	(107)
第一节	塑料洛氏硬度试验	(107)
第二节	塑料球压痕硬度试验	(111)
第三节	邵氏硬度试验	(113)
第四节	橡胶国际硬度试验	(116)
第五节	巴克尔硬度试验	(121)
第六节	超声硬度试验	(122)
附录 I	金属布氏硬度 (HBS 或 HBW) 数值表	(124)
附录 II	金属维氏硬度数值表 (HV0.2~HV10)	(140)
附录 III	金属维氏硬度数值表 (HV0.01~<HV0.2)	(176)
附录 IV	试验力为 0.009 8 N (1 gf) 的努氏硬度数值表	(187)
附录 V	D 型冲击装置里氏硬度换算表	
	碳钢、低合金钢和铸钢 ($E \approx 210\,000\text{ N/mm}^2$)	(191)
附录 VI	黑色金属硬度与强度换算值 (一)	
	各种钢硬度与强度换算值 (GB/T 1172—1999)	(196)
	低碳钢的硬度与强度换算值 (二)	(201)
主要参考文献		(204)

◇ 概 述 ◇

“硬度”所表示的不是一个确定的物理量，目前还没有发现任何一种测量硬度的方法同某一物理性质有确定的量的关系。在生活和工作中对材料硬度的解释是，坚硬的材料硬度值高；反之，硬度值低的是比较软的材料。

众所周知，材料机械性能对解决各种机械和建筑工程的设计及加工问题具有特别重要的意义，对于各种机械部件或建筑构件而言，都要求具有一定的特性。例如轴承要耐磨，经常受力的部件要有较高的强度，常受冲击的部件要耐冲击等等。要确定这些机械性能需经过一系列的机械性能试验，诸如拉、压及疲劳试验等等。这些试验不仅需要一定的设备和足够的人力，而且往往不能以零部件进行直接试验。惟有硬度试验可以对零部件进行直接测定，并且经过相应的换算还能得出其他的主要机械性能，可见硬度是材料重要的机械性能之一。

关于硬度的定义，目前尚无统一的表达方式，有人称“是材料抵抗残余变形和反破坏的能力”，也有人说“是材料抵抗弹性变形，塑性变形或破坏的能力。”因为它既表明材料的弹性变形，也表明材料的塑性变形，硬度值的获得不仅与材料的弹性极限，弹性模数、屈服极限、脆性乃至材料的结晶状态、分子结构和原子间键结合力等有关，而且与测量条件和测量方法密切相关。对于以压入法进行的硬度试验而言，一般认为，硬度是物质抵抗另一较硬的，具有一定形状和尺寸的物体压入其表面的能力。

一、硬度试验及其特点

软与硬是相对的，两个物体相互划磨，软的就会产生划痕，硬的则无变化，人们最早就是根据材料抵抗划磨的能力来比较材料的软与硬的。根据这种原理，将矿石依其软硬次序分为十级标准，第一级是最软的，是滑石，其次是石膏、方解石……，最硬的是金刚石。后来，人们根据这种方法对纯金属确定了相应的等级。很显然，这种粗略的方法远不能满足工业发展的要求，随着科学技术的发展，测定材料硬度的方法有了很大的进步，自 20 世纪初叶至今已有几十种之多，包括对非金属材料的硬度测量。

硬度试验法很多，常用的有十几种，按施加试验力的方法分为静载压入法和动载试验法，最常用的布氏硬度、洛氏硬度及维氏硬度试验等属静载试验法，肖氏硬度、里氏硬度则属动载试验法。如果按试验材料分类，可分为金属硬度试验和非金属硬度试验等。

硬度试验在生产和科研工作中之所以被广泛采用，是因为它具有很多特点，与其他机械性能试验比较有很多优点。

- (1) 硬度试验为非破坏性试验，对工件的损伤极小，一般不影响使用；
- (2) 试验方法简单方便，对大小部件均可直接测量，便携式硬度计可在现场，在部件上直接测量；
- (3) 对于不能切割成试样的工件，如工具、刀具和天平的刀垫及刀子等，硬度试验是惟一可行的试验方法；

(4) 硬度试验操作简单、效率高,每小时可以进行数百次,甚至上千次测量,对重要零、部件可进行100%的检验;

(5) 硬度值与其他机械性能,如强度极限有近似的换算关系,通过硬度测量可近似换算成强度极限等。因此,可以大大提高工作效率,节约原材料。

(6) 硬度试验是理化分析,金相试验及材料科学的重要手段。

总之,硬度试验是材料机械性能试验中最简单、迅速和易于实施的方法,是确定合理的加工工艺、检验产品质量的主要手段之一。

二、硬度试验在国民经济中的作用

在保证产品质量,改进工艺方面,硬度试验起着十分重要的作用。例如轴承,如果硬度过高就容易发生脆裂;如果硬度过低就容易磨损变形;只有硬度适量,则可以在很大程度上延长轴承的寿命。因此,硬度值成为检验轴承的主要技术指标。此外,在加工过程中需要对5%~10%的样品进行硬度试验,即中间试验,检验加工工艺的正确性,保证加工质量。

目前,硬度试验的应用极为普遍,成为检验产品质量的重要手段,一架大型喷气客机有成千的零件要求测定硬度,一辆汽车有上百种零件测定硬度,就连一只仅有一百多零件的手表也有七十多个零件要测定硬度。此外,由于硬度与材料的化学成分、热处理状况及金相结构有一定的关系,所以硬度试验也是理化分析、金相研究的重要手段。

总之,在机械制造、冶金、精密仪器仪表等行业中,从生产到科研,从选材、加工到成品验收,硬度试验都是不可缺少的手段,特别是近代材料科学的发展与硬度试验关系密切。可见,硬度试验在国民经济中起着重要的作用。

三、硬度试验的发展趋势

随着近代工业生产和科学技术的不断发展,对硬度试验的要求越来越广泛,对硬度测定的准确度要求越来越高,相应地也促进了结构先进、高效率、高精度的新型硬度计的发展。只有采用先进的测量技术,实现自动测量,达到客观读数,才能显著地提高测量精度。全新的自动测量和机电类一体化的产品是达到世界先进水平的必由之路。

随着产品的规模化和生产过程的自动化,以及更加严格的品质控制要求,在生产过程中连续自动测量系统的发展是必然的趋势,以达到在线测量和进行质量控制。

关注硬度试验的发展趋势,追踪新型检测方法,开展硬度理论基础研究工作,保证硬度计量测试工作不断发展具有十分重要意义。

◇ 第一章 布氏硬度试验 ◇

布氏硬度试验是1900年由瑞典工程师布利涅尔(J.B.Brinnell)提出的,这种方法由于压痕较大,因而硬度值受试样组织的偏析及成份不均匀的影响较小,具有较高的测量精度,检测结果的分散度小,比较客观地反映出材料的性能,所以,是目前最常用的试验方法之一。

第一节 布氏硬度试验原理及特点

一、试验原理

用一定直径的硬质合金球,在规定的试验力作用下压入试样表面,经规定的保持时间后卸除试验力,测量试样表面压痕直径,布氏硬度与试验力除以压痕表面积的商成正比。见图1-1。

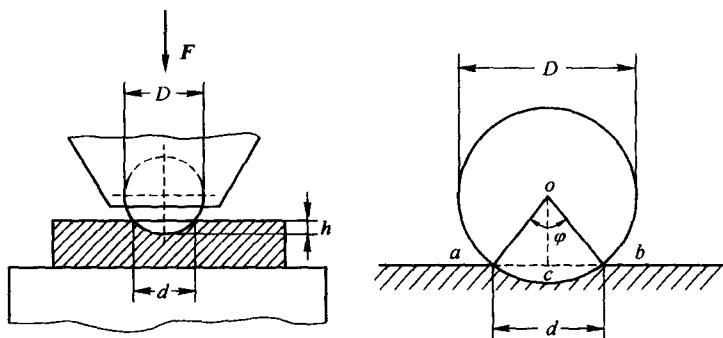


图1-1 布氏硬度试验法原理图

布氏硬度试验采用硬质合金球压头,硬度符号为HBW。

布氏硬度值按下式计算:

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

式中: D ——球压头直径, mm;

F ——试验力, N;

d ——压痕平均直径, mm。

公式(1-1)是根据试验原理图推导的:

$$\text{HBW} = \frac{F}{S} = \frac{F}{\pi D h} \quad (1-2)$$

式中: F ——试验力, kgf;

S ——压痕表面积, mm^2 ;

h ——压痕深度, mm。

在直角三角形 oac 中:

$$(oc)^2 = (oa)^2 - (ac)^2$$

$$\text{即: } \left(\frac{D}{2} - h\right)^2 = \left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

$$\frac{D}{2} - h = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}$$

$$h = \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{1}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})$$

$$\text{代入 (1-2) 式} \quad \text{HBW} = \frac{F}{\pi D h} = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

可见, 在试验力及球压头直径一定的情况下, 压痕深度越深, 或直径越大, 则获得的硬度值越低, 即材料的变形抗力越小。

布氏硬度值用以下方法表示:

符号 HBW 前面的数值为硬度值, 符号后面为试验条件, 即球直径, mm、试验力数字及试验力保持时间, 采用规定的保持时间 (10~15 s) 则不用标注。

例如: 350HBW5/750——用 5 mm 硬质合金球, 在 7.355 kN (750 kgf*) 试验力下保持 10~15 s, 测得的硬度值为 350; 10~15 s 为标准时间, 不用标注。

600HBW1/30/20——用 1 mm 硬质合金球, 在 294.2 N (30 kgf) 试验力下保持 20 s, 测得的布氏硬度值为 600。

布氏硬度试验一般采用测量压痕直径的方法; 但在自动硬度计中, 或在大批量试样试验时常采用百分表测量压痕深度的方法, 以提高试验速度。有的生产线上的自动测量仪器采用对压痕进行扫描的方式测量硬度值。今后将会出现更多的更为先进的仪器。

布氏硬度试验硬度范围的上限为 650HBW。试验力范围为 9.807 N~29.42 kN, 表 1-1 为不同条件下的试验力, 供试验时选用。

表 1-1 试验力

硬度符号	压头直径 D/mm	试验力 - 球压头直径平方的比 $0.102 \times F/D^2$	试验力 F/N
HBW10/3 000	10	30	29 420
HBW10/1 500	10	15	14 710
HBW10/1 000	10	10	9 807
HBW10/500	10	5	4 903
HBW10/250	10	2.5	2 452
HBW10/100	10	1	980.7

* 1 kgf = 9.8 N, 下同。

续表

硬度符号	压头直径 D/mm	试验力—球压头直径平方的比 $0.102 \times F/D^2$	试验力 F/N
HBW5/750	5	30	7 355
HBW5/250	5	10	2 452
HBW5/125	5	5	1 226
HBW5/62.5	5	2.5	612.9
HBW5/25	5	1	245.2
HBW2.5/187.5	2.5	30	1 839
HBW2.5/62.5	2.5	10	612.9
HBW2.5/31.25	2.5	5	306.5
HBW2.5/15.625	2.5	2.5	153.2
HBW2.5/6.25	2.5	1	61.29
HBW1/30	1	30	294.2
HBW1/10	1	10	98.07
HBW1/5	1	5	49.03
HBW1/2.5	1	2.5	24.52
HBW1/1	1	1	9.807

二、布氏硬度试验的特点

布氏硬度试验在工业生产中,尤其是在冶金及机械制造业中得到广泛的应用,是由于它具有以下特点:

1. 具有较大的压头和较大的试验力

由于采用较大的球压头($\phi 10 \text{ mm}$)和较大的试验力,得到较大直径的压痕,因而能测量出试样较大范围内的性能,而不受材料中个别组织的影响。适应于具有大晶粒金属材料的硬度测定,例如铸铁、有色金属及其合金,各种退火、调质处理后的钢材,也可以对原材料及半成品进行检验。

2. 与抗拉强度极限关系

由于布氏硬度试验能反应出试样较大范围内的综合性能,因此布氏硬度与材料的其他机械性能较为密切,尤其与抗拉强度极限存在近似的换算关系:

$$\sigma_b = K \cdot \text{HB} \quad (1-3)$$

式中: σ_b ——抗拉强度极限;

K ——常数,不同材料有不同数值。

所以,通过测量布氏硬度可以间接得到材料的抗拉强度。这在生产实际中具有很大的意

义。可以通过测量硬度的方法得到近似的强度值,既可以提高工作效率,又可以节省大量原材料。

布利涅尔研究了布氏硬度与强度极限的近似关系,得出:

$$\sigma_b = 0.346HB$$

后来,很多学者进行了进一步的研究,制定了很多形式的换算表。

国标 GB 1172—1999 是中国计量科学研究院等单位采用七个钢系二十多种钢材研制的“黑色金属各种硬度及强度换算值”(见附录 VI),其中布氏硬度数值与强度极限的关系见图 1-2。近似关系式为:

$$\sigma_b = 0.361HB$$

必须指出,各种换算值只是近似的。只要条件许可,应当进行所需要的试验,而不能依赖换算值。

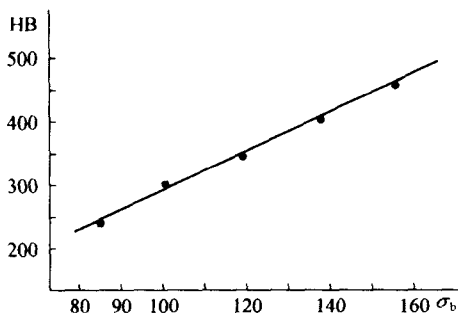


图 1-2 布氏硬度与强度关系图

3. 精度高

布氏硬度试验由于压痕较大,具有较高的测量精度,这个方法简单易行,误差因素较少,因而数据稳定、可靠,精度较高。

三、布氏硬度计

布氏硬度试验设备包括:硬度计、球压头及测量显微镜。根据加力方式及测量对象的不同,布氏硬度计有不同的结构形式:

1. 直接加荷式

这种结构以砝码及吊挂的实际重量通过主轴作用在试样上,见图 1-3。这种结构具有较高的精度,一般作为基、标准仪器检定标准硬度快。但这种仪器体积较大,比较笨重,工作效率较低。

2. 杠杆加荷式

这种结构的试验力是砝码、吊挂通过杠杆组合放大后通过主轴作用在试样上,见图 1-4。卸除试验力后测量压痕直径,得到试样的硬度值。

杠杆后部挂有可更换的砝码,形成不同的试验力。试验力施加是由电机、借助蜗杆、连杆自动进行的。

3. 液压加荷式

试验力是通过液压放大后作用在试样上。试台或压头的移动及加卸荷过程均由电器控制,因而自动硬度计或大型硬度计常常采用。

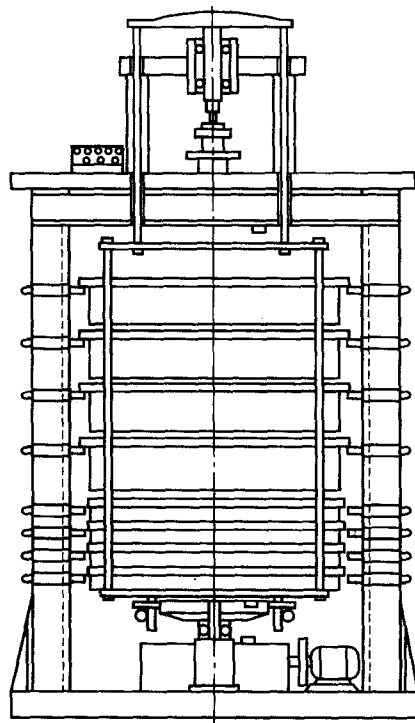


图 1-3 直接加荷式硬度计

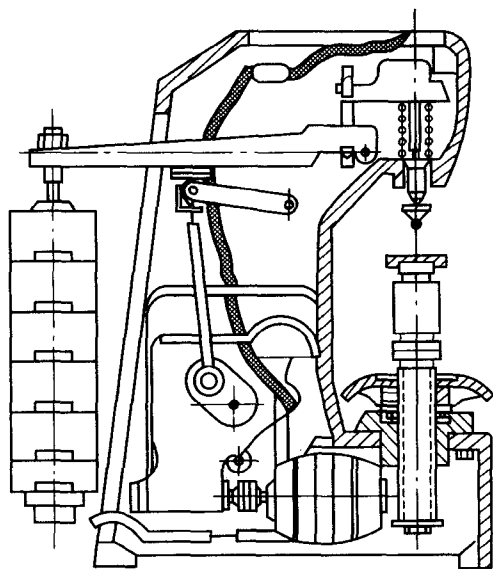


图 1-4 杠杆式布氏硬度计结构图

4. 便携式硬度计

这种仪器体积小，携带方便，适应于现场使用，但精度较低。如弹簧加荷式，球压头在压缩弹簧推动下压入试样；还有锤击硬度计等。

上述种种仪器中，以杠杆式硬度计数量最多，使用最为广泛。

第二节 布氏硬度试验条件及规则

“硬度”不是一个确定的物理量，是表征材料变形能力的一个特征量。硬度值不仅仅决定于试样的材质，也取决于试验条件，具有相对测量的性质。对同一材料，不同地点，不同人员要得到一致的结果，必须遵守统一的试验法或检定规程的规定。必须对实验条件进行严格的规定。了解和熟悉试验法及相关的检定规程是很必要的。

一、相似原理的应用

布氏硬度试验最常用的标准条件是硬质合金球压头为 $\phi 10$ mm，试验力为 29.42 kN，此时最能体现布氏硬度的特点。但是，由于试样的材质软硬不同、大小不一样，一种试验力、一种球压头是不能满足的。不同直径的球压头及不同的试验力应当是可以任意选择的，如表 1-2。在表 1-2 和表 1-3 中，当试样尺寸允许时，应优先选用直径 10 mm 的球压头进行试验。但是，对于同一试样，采用不同直径的球压头及不同的试验力，要得到相同的硬度值，或者说，要获得可以比较的结果，只有在试验力与球压头直径的平方之比为一个常数时才可能。即

$$\frac{F}{D^2} = \frac{F_1}{D_1^2} = \frac{F_2}{D_2^2} = K \quad (1-4)$$

表 1-2 布氏硬度试验球压头直径及试验力选择表

材 料	硬度范围 HBW	试样厚度 mm	F 与 D^2 之比 $0.102 \times F/D^2$	球压头直径 D/mm	试验力 F/N	保持时间 s
黑色金属	140~450	>6	$F = 30D^2$	10	29 420	10~15
		6~3		5	7 355	
		<3		2.5	1 839	
黑色金属	<140	>6	$F = 30D^2$	10	29 420	10~15
		6~3		5	7 355	
		<3		2.5	1 839	
有色金属及 合金(铜、 黄铜、青铜)	31.8~140	>6	$F = 10D^2$	10	9 807	30
		6~3		5	2 452	
		<3		2.5	612.9	
有色金属及 合金(铅轴 承合金)	8~35	>6	$F = 2.5D^2$	10	2 452	60
		6~3		5	612.9	
		<3		2.5	153.2	

表 1-3 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 $0.102F/D^2$
钢、镍合金、钛合金		30
铸铁 ¹⁾	<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

1) 对于铸铁的试验, 压头球直径一般为 2.5 mm, 5 mm 和 10 mm。

这个规则来源于相似律。根据这个原理, 对于同一材料, 用任何直径的硬质合金球压头, 如果得到相同的压入角; 或者说, 压入到同样的、按压入角计算的深度, 就能获得相同的硬度值。

压入角 φ 是通过压痕直径 d 两端所引两个球压头半径所组成的中心角, 见图 1-5。

从中心 o 点作 ab , 或 $a'b'$ 的中垂线。

在 $\triangle oac$ 中, $\frac{ac}{oa} = \sin \frac{\varphi}{2}$

$$ac = oa \sin \frac{\varphi}{2}$$

即

$$\frac{d}{2} = \frac{D}{2} \sin \frac{\varphi}{2}$$

$$d = D \sin \frac{\varphi}{2}$$

将此式代入 (1-1) 公式中, 得:

$$\begin{aligned} \text{HBW} &= \frac{2F}{\pi D \left[D - \sqrt{D^2 - \left(D \sin \frac{\varphi}{2} \right)^2} \right]} \\ &= \frac{F}{D^2} \frac{\alpha}{\pi \left(1 - \sqrt{1 - \sin^2 \frac{\varphi}{2}} \right)} \end{aligned}$$

对两个不同直径 D_1 、 D_2 的球压头, 在同一试样上要获得相同的压入角 φ , 就必须有相应的试验力 F_1 、 F_2 , 此时硬度值相等。

即

$$\begin{aligned} \text{HBW} &= \frac{F_1}{D_1^2} \frac{2}{\pi \left(1 - \sqrt{1 - \sin^2 \frac{\varphi}{2}} \right)} \\ &= \frac{F_2}{D_2^2} \frac{2}{\pi \left(1 - \sqrt{1 - \sin^2 \frac{\varphi}{2}} \right)} \end{aligned} \quad (1-5)$$

约去相同部分, 得到试验结果相同, 或具有可比性的必要条件为:

$$\frac{F}{D^2} = \frac{F_1}{D_1^2} = \frac{F_2}{D_2^2} = K \quad (1-6)$$

K 值分别为 30, 10, 5, 2.5 等。

如果 K 为 30, 则满足:

$$F = 30D^2$$

的相关的试验力及相应的球压头直径获得的试验结果相同, 或可以比较, 见表 1-2。但由于试样的加工和热处理等原因, 实际上所得到的结果还是有些差异的。

二、布氏硬度值与试验力

布氏硬度试验除了必须根据相似性原理, 按照 $(0.102F/D^2)$ 比值选择试验力和球压头以外; 还必须使得压痕直径处于以下范围:

$$0.24D < d < 0.6D$$

否则试验结果无效, 选择合适的试验力重新试验。

我们知道, 维氏硬度相似性较好, 硬度值与试验力无关。从图 1-6 可见, 布氏硬度值则依赖于试验力。当试验力很小时, 硬度值随试验力的增加而迅速增加。当试验力达到一定大小时, 硬度值达到最大值, 曲线处于平缓阶段。在这个区域内, 硬度值趋于常数, 很少与试验力有关。此时所产生的压痕满足 $0.24D < d < 0.6D$ 的条件。所以, 布氏硬度试验的试

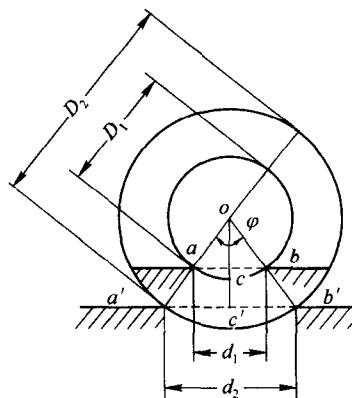


图 1-5 相似原理示意图

验力应当使试验处于平坦部分。

$d=0.375D$ 处于平坦部分的中部, 是理想的试验条件。此时压入角 φ 正好是 44° , 维氏硬度利用了这个理想条件, 选择金刚石压头相对面夹角为 136° , 压入角为 44° , 见图 1-7。获得较好的相似性。

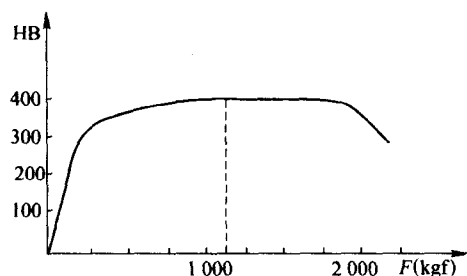


图 1-6 布氏硬度值与负荷的关系

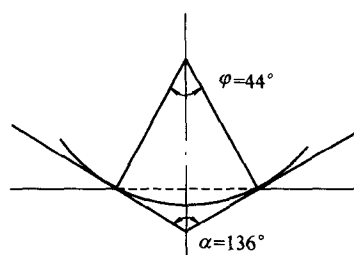


图 1-7 钢球与金刚石角锥体压头压痕吻合情况

平缓区域以后, 当试验力继续增大时, 硬度值将下降。

三、布氏硬度计的技术条件

(1) 压头应垂直于试样表面, 均匀、平稳地施加试验力, 加力过程中不应有冲击、振动。从加力开始至全部试验力施加完毕应在 2~8 s 之间。压头刚接触试样时的瞬间速度应不超过 1 mm/s。试验力保持时间为 10~15 s。对于要求保持时间较长的材料, 保持时间允许误差为 ± 2 s。

试验力施加时间和保持时间为试验循环时间, 其最大允许误差为 ± 0.5 s。

(2) 硬度计应稳固地安装在基础上, 并调至水平, 硬度计主轴与试台台面的垂直度不大于 0.2/100。

(3) 硬度计各级试验力的允许误差应在标称值的 $\pm 1.0\%$ 以内。

(4) 硬度计升降丝杠轴线与主轴轴线的同轴度不大于 $\phi 0.5$ mm。

四、硬质合金球压头技术条件

球压头的要求见表 1-4。

表 1-4 球压头技术指标

球压头直径/mm	最大允许误差/mm	表面粗糙度 $R_z/\mu\text{m}$	球压头硬度/HV10
10	± 0.005	≤ 0.2	$\geq 1\ 500$
5	± 0.004		
2.5	± 0.003		
1	± 0.003		

(1) 压头球体应精密抛光, 其表面粗糙度不大于 $0.2\ \mu\text{m}$, 无任何表面缺陷;

(2) 球体在压头套内应安装牢固, 突出球套部分应不大于其直径的 1/3;

(3) 球体应定期检查, 其残余变形使直径超差时应予更换。

五、布氏硬度试验的测量装置

(1) 测量显微镜的照明应均匀和充分光亮, 在试验面与压痕间产生最大的反差, 以保证测量精度。照明应能调节。

测量装置刻线应均匀、清晰。

(2) 压痕测量装置的分辨力应小于压痕直径的 0.5%。

(3) 测量装置在各工作范围内允许误差为 $\pm 0.5\%$, 测量投影区域时, 其允许误差为 $\pm 1\%$ 。

(4) 压痕直径的测量是在两个互相垂直的方向上进行, 取两次测量的算术平均值计算硬度值。两次测量的差应不大于其中较小直径的 2%。

对于轧制材料, 测量应在与轧制方向成 45° 角的方向上进行。

六、布氏硬度试验的试样

(1) 试样的表面应光滑平整, 不应有氧化皮及污物, 尤其不应有油脂。试样表面应能保证压痕直径的精确测量, 表面粗糙度 R_a 一般不大于 $1.6 \mu\text{m}$ 。

(2) 试样制备过程中, 应尽量避免由于过热或冷加工等对试样表面硬度产生影响。

(3) 试样的厚度至少应为压痕深度的 8 倍。试样最小厚度见表 1-5。

表 1-5 压痕平均直径与试样最小厚度关系表

mm

压痕平均直径 d	试样最小厚度			
	球直径			
	$D=1$	$D=2.5$	$D=5$	$D=10$
0.2	0.08			
0.3	0.18			
0.4	0.33			
0.5	0.54			
0.6	0.8	0.29		
0.7		0.4		
0.8		0.53		
0.9		0.67		
1		0.83		
1.1		1.02		
1.2		1.23	0.58	
1.3		1.46	0.69	
1.4		1.72	0.8	
1.5		2	0.92	
1.6			1.05	
1.7			1.19	
1.8			1.34	