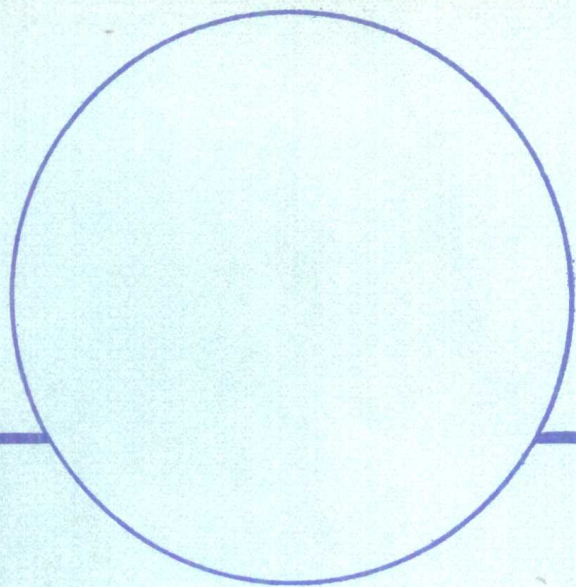
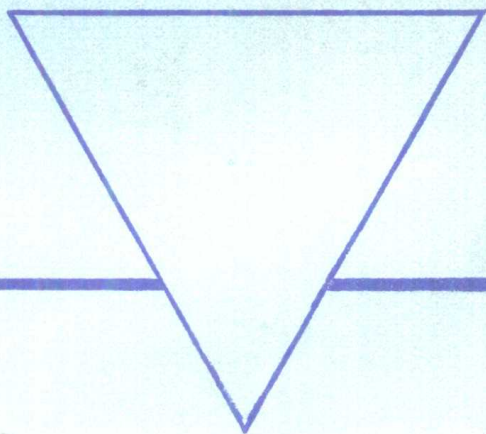
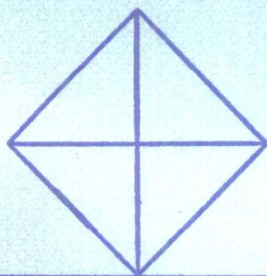
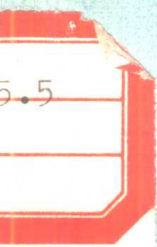




金属硬度试验



计 量 出 版 社

金属硬度试验

杨迪 杨辉其 周培贤 编著
杜铭心 袁静愉 林巨才

计量出版社

1983 北京

内 容 提 要

本书分为六章,分别介绍了最常用的布氏硬度、洛氏硬度、表面洛氏硬度、维氏硬度、显微硬度及肖氏硬度试验的一些基本知识,包括试验原理,试验方法,各种硬度计的特点及其应用,以及各种硬度试验的必要条件,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。

附录中列出了各种硬度计检定规程和硬度值的计算表格等资料,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。

金 属 硬 度 试 验

杨 迪 杨辉其 周培贤 编著
杜铭心 袁静愉 林巨才
责任编辑 陈艳春

*

计量出版社出版

(北京和平里11区7号)

中图公司上海印刷厂排版

北京计量印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

开本 787×1092 1/32 印张 8

字数 181 千字 印数 1—18000

1983年2月第一版 1983年2月第一次印刷

统一书号 15210·217

定价 1.05 元

科技新书目: 41—177

前 言

硬度试验是金属机械性能试验中最简单、迅速和较易实施的方法,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。

目前,我国已经建立了几种常用的硬度基准、标准,量值传递系统也已形成;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。因此,比较系统地向初学者介绍硬度知识也就成了当务之急。根据各方面的建议我们编写了这本《金属硬度实验》。

全书共分六章。分别介绍了布氏、洛氏、表面洛氏、维氏、显微和肖氏硬度试验的基本知识,试验原理,试验条件,误差来源各种硬度计的结构原理、正确使用和检定。附录中列出了各种硬度计检定规程和硬度值计算表格等资料。

我们期望本书能给读者有所帮助,但是由于我们理论水平不高,实践经验有限,书中仍然存在不少错误和不足,欢迎读者提出宝贵意见。

该书编著过程中得到中国计量科学研究院及有关部门很多同志的支持和帮助,并由张金玲同志制图,谨此一并致谢。

编著者

一九八二年五月

目 录

概述	(1)
第一章 布氏硬度试验	(5)
第一节 布氏硬度试验原理及其特点	(5)
第二节 布氏硬度的试验条件及规则	(10)
第三节 布氏硬度试验误差来源	(16)
第四节 布氏硬度计的检定及正确使用	(26)
第二章 洛氏硬度试验	(30)
第一节 洛氏硬度试验原理及其特点	(30)
第二节 洛氏硬度试验条件及规则	(35)
第三节 洛氏硬度试验误差来源	(40)
第四节 洛氏硬度计的检定及正确使用	(48)
第三章 表面洛氏硬度试验	(52)
第一节 表面洛氏硬度试验原理及其特点	(52)
第二节 表面洛氏硬度试验条件与规则	(57)
第三节 表面洛氏硬度试验的误差来源	(65)
第四节 表面洛氏硬度计的检定及正确使用	(76)
第四章 维氏硬度试验	(81)
第一节 维氏硬度试验原理及其特点	(81)
第二节 维氏硬度试验条件	(86)
第三节 维氏硬度试验误差来源	(92)
第四节 维氏硬度计的检定及正确使用、硬度示值的统一	(93)
第五章 显微硬度试验	(102)
第一节 显微硬度试验特点、原理及应用	(102)
第二节 显微硬度试验条件	(108)

第三节	显微硬度试验误差来源·····	(112)
第四节	显微硬度计正确使用与检定及其示值的统一·····	(125)
第六章	肖氏硬度试验·····	(129)
第一节	肖氏硬度试验原理及其特点·····	(129)
第二节	肖氏硬度的试验条件·····	(134)
第三节	肖氏硬度试验的误差分析·····	(135)
第四节	肖氏硬度计的检定·····	(140)
附录 I	金属布氏硬度计检定规程·····	(146)
附录 II	金属洛氏硬度计检定规程·····	(153)
附录 III	金属表面洛氏硬度计检定规程·····	(159)
附录 IV	金属维氏硬度计检定规程·····	(165)
附录 V	显微硬度计检定规程·····	(171)
附录 VI	布氏硬度值计算表·····	(176)
附录 VII	维氏硬度值计算表·····	(183)
附录 VIII	显微硬度值计算表·····	(202)
附录 IX	黑色金属硬度及强度换算表·····	(237)

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。在生活和工作中对物质硬度的理解是，坚硬的材料硬度值高；反之，硬度值低的就是比较软的。

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通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条件和足够的人力，而且往往不能以零部件进行直接试验。唯有硬度试验可以对零部件进行直接测定，并且经过相应地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坚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。两个东西相互划磨，软的就会产生划痕，而硬的则无变化。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，最早是将矿石依其软硬的次序分为十级标准。第一级，也就是最软的，是滑石，其次是石膏、方解石、萤石……，直至最硬的金刚石。后来又根据这种方法对纯金属也相应地确定出了等级。例如，钠是最软的，为0.4级；而铜和铁同为4级。很显然，这种粗略的确定硬度的方法远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也有了很大进步。自二十世纪初叶至今对材料硬度的测定法已有几十种之多，近年来对非金属材料硬度的测定法也有所发展。

硬度试验法很多，常用的有十几种。按试验方法分类，一般可分为静载压入法和动载压入法。通常所采用的布氏硬度、维氏硬度和洛氏硬度等均属静载试验法。肖氏硬度和捶击式布氏硬度则属动载试验法。如按试验材料来分类，则可分为金属硬度试验法和非金属硬度试验法。本书所论述的均属金属硬度试验法。

硬度试验在生产和科研中之所以被广泛应用，是与其特点分不开的。它与其他机械性能试验比较有许多优点：

1. 硬度试验为非破坏性试验，对工件损伤极小，测定硬度后的零、部件，一般对使用无影响。
2. 试验方法简便。对大、小部件均可进行直接测定，有便携式硬度计可供现场测定。
3. 对于不能用刀具切割成试样的工件(如工具、刀具和天平的刀垫及刀子等)硬度试验是唯一可行的试验法。
4. 对于重要零、部件可全部进行直接检验，而其他试验

法,则只能进行抽检。

5. 试验效率较高,每小时可以进行成百次的测定。

6. 试验程序简便,硬度计操作简单,测定人员可以较快地掌握试验技术。

7. 硬度值可近似换算得出其他机械性能,如强度极限等。

8. 硬度试验可用做理化分析和金相组织的研究方法。

总之,硬度试验是金属机械性能试验中最简单、迅速和较易实施的方法,是确定合理的加工工艺、检验热处理效果的主要手段。

二、硬度试验在国民经济中的作用

在提高产品质量,改进工艺方面硬度试验起着十分重要的作用。任何设备和装置都是由成百、成千乃至上万个零件所组成的。由于这些零件处在不同的部位,对其硬度也就有着不同的要求。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;而硬度适量,则可以在很大程度上延长轴承的使用寿命。不仅对零件的成品要进行硬度检验,就是在加工过程中也需得知材料的硬度范围,才好选定加工程序和工具。往往有些装配好的设备在运转使用时,由于某些零件因硬度不合格引起磨损变形或崩裂而发生故障,从而造成极大浪费和事故。由此可见,硬度试验也是保证产品内在质量的主要手段。

目前,硬度试验的应用极为普遍,一架大型喷气式客机就有成千的零件要测定硬度,一辆汽车有上百种零件要测定硬度,就连一只仅有一百多个零件的手表也有七十多个零件要测定硬度。因为硬度与金属、合金的化学成分和金相结构有一定的关系,所以硬度试验也是一种很好的理化分析和金相

研究的方法。

总之，硬度试验无论是在机械制造业、精密仪器仪表业中，还是在航天、航空、造船等工业中，从生产到科研，从选材、加工到成品，都是不可缺少的试验手段。特别是近代材料科学的发展与硬度试验有着更密切的关联。可见，硬度试验在促进国民经济的发展中起着很重要的作用。

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提高，特别是新型材料科学的发展，对硬度试验的运用越来越广泛，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、使用方便、高效率、高精度的新型硬度计的发展。各种硬度计将向着自动化、数字化的方向发展。试验过程的自动化不仅能提高效率，同时可以减少人员操作误差而提高试验精度。

此外，为了提高劳动效率和确保产品质量应该发展生产线上自动检验的快速硬度计，并需研制各种高温硬度计和低温硬度计，以满足航天、航空以及其他国防工业的需要。同时对一些特殊材料也应考虑探索研究新的硬度测试方法。

第一章 布氏硬度试验

第一节 布氏硬度试验原理及其特点

布氏硬度试验是 1900 年由瑞典工程师布利涅尔 (J. B. Brinell) 提出的,是目前最常用的硬度试验法之一。

一、布氏硬度试验原理

布氏硬度测定的原理是把一定直径的淬火钢球,以规定的负荷压入试样表面如图 1.1, 经规定的保荷时间后卸除负荷,测量试样表面的压痕直径,计算出布氏硬度值。该值是以试样压痕表面积上的平均压力(公斤力/毫米²)表示。按下式计算:

$$HB = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1.1)$$

式中: D ——钢球直径(毫米);

F ——试验负荷(公斤力);

d ——压痕直径(毫米)。

公式(1.1)根据布氏硬度试验原理(图 1.1)推导如下:

$$HB = \frac{F}{S} = \frac{F}{\pi Dh} \quad (1.2)$$

式中: S ——压痕表面积(毫米²);

h ——压痕深度(毫米)。

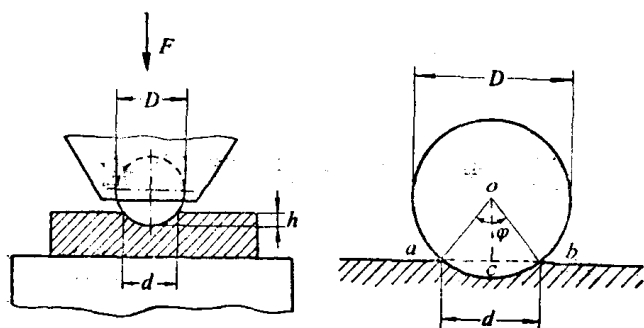


图 1.1 布氏硬度试验法原理图

在直角三角形 oac 中

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

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

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

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

将此式代入式(1.2), 得出:

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

可见, 在负荷和钢球直径一定的情况下, 压痕深度越深, 或压痕直径越大, 则获得的硬度值越低, 即材料的变形抗力越小。

硬度值通常是在测量压痕直径以后, 由按公式(1.1)计算的专用表格查得, 并用以下方式表示, 如 HB10/3000/30 195

其中: 10——表示所用钢球压头直径为 10 毫米;

3000——试验负荷为 3000 公斤力;

30——负荷保持时间为 30 秒；

195——布氏硬度数值。

由于压痕深度数值很小，大约只有直径的七分之一，所以测量压痕深度比测量其直径的精确度要低；此外，由于试样的组织及加工情况的不同，在试验过程中压痕边缘往往出现凸起或凹下等现象，此时测量深度比较困难，带来较大误差。所以，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，或在大批量试验时常采用百分表测量压痕深度，以提高试验速度。

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应用，是由于它具有以下特点：

1. 由于采用较大的钢球压头（10 毫米）和较大的负荷，得到较大的压痕。因而能测量出试样较大范围内的性能，而不受被试材料个别组织的影响。适应于测量经退火或正火处理的粗大晶粒的试样及铸件；也可以对原材料和半成品进行检验。

2. 由于布氏硬度试验能反应出试样较大范围内的综合性能，因而布氏硬度与材料其他的机械性能的关系较为密切，尤其与抗拉强度极限存在近似的换算关系：

$$\sigma_b = K \cdot HB \quad (1.3)$$

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抗拉强度。这在生产实际中具有很大的意义。可以用测量硬度的方法求得近似的强度值，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：

$$\sigma_b = 0.346 \text{ HB}$$

后来,很多学者进行了进一步的研究,并且制定了各种形式的换算表。

国标 GB1172—74 是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表(见附录 IX)。其中布氏硬度数值与强度极限的关系如图 1.2 所示,近似关系式为:

$$\sigma_b = 0.361 \text{ HB}$$

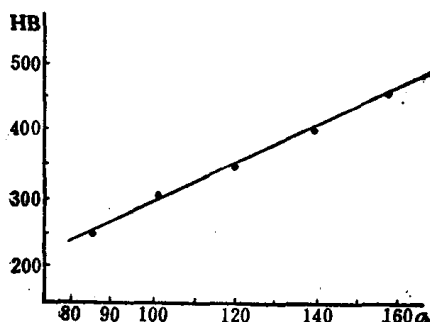


图 1.2 布氏硬度与强度关系图

必须指出,各种换算表只是近似的。只要条件许可,应当直接进行所需要的试验,而不能依赖换算表。

3. 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、布氏硬度计简述

布氏硬度试验所必须的设备包括:布氏硬度计、钢球压头及压痕测量显微镜。

根据加荷方式及测量对象的不同,布氏硬度计可以有不同的结构形式:

1. 直接加荷式,以砝码和吊挂的实际重量通过主轴直接

作用在试样上。这种结构具有较高的精度，一般作为标准硬度计定度标准硬度块，或作精密测试用。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，负荷通过杠杆放大后作用在试样上。这种硬度计体积小、使用方便，广泛地使用于生产第一线。其结构如图 1.3 所示。

3. 液压加荷式，负荷通过液压放大后作用在试样上。此种方式容易实现对油路的控制，因而自动硬度计或大型硬度计常常采用。

4. 弹簧加荷式，钢球在压缩弹簧的推动下压入试样。这种硬度计体积小、携带方便，适应于不易搬动的大工件，或在现场使用。但精度较低。

此外，还有锤击硬度计等等。其中以杠杆式硬度计数量最多，使用最为普遍。

杠杆式硬度计的结构见图 1.3。主要包括升降丝杠、装在丝杠上的可换工作台；主轴、带有不同直径钢球的可换压头插在主轴内；主轴上部有弹簧，弹簧产生的预负荷加在试样上；负荷是借杠杆系统施加于试样上，杠杆后部挂有可更换的砝码；负荷施加是由电机、借助蜗杆、连杆自动进行的。各种硬度计的型号、式样可以不同，但大致都由以上部分构成。

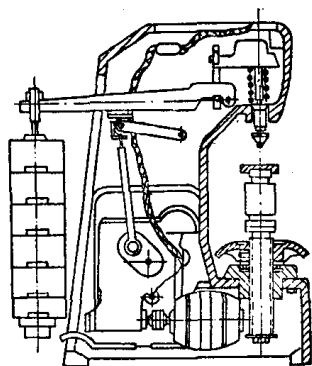


图 1.3 布氏硬度计结构图

试验时，试样置于工作台上，钢球压头安装在主轴下端，负荷经杠杆放大后作用在钢球上，并将钢球压入试样表面，卸除负荷后测量所得压痕直径，並由此得到试样的硬度值。硬度试验必须按照试验法等有关的规定进行。

第二节 布氏硬度的试验条件及规则

“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。必须对试验条件进行严格的限制。因此，了解和熟悉试验法及有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钢球压头为 10 毫米、负荷为 3000 公斤力，此时最能体现布氏硬度的特点。但是，由于试样的软硬不同、大小不一样，一种负荷、一种钢球是不能满足的。表 1.1 提供了根据试样的厚度和预期的硬度范围选择钢球直径和负荷的参考，表 1.2 补充了一些小负荷、小钢球的应用。

表 1.1 布氏硬度试验钢球直径和负荷选择表(一)

材 料	硬度范围 (硬度值)	试样厚度 (毫米)	负荷 F 与 钢球 D 之比	钢球直径 (毫米)	负荷 F (公斤力)	保荷时 间(秒)
黑色金属	140—450	大于 6	$F=30D^2$	10	3000	10
		从 6 到 3		5	750	
		小于 3		2.5	187.5	
同 上	小于 140	大于 6	$F=30D^2$	10	3000	30
		从 6 到 3		5	750	
		小于 3		2.5	187.5	
有色金属及 合金(铜、黄 铜、青铜、磁 合金及其他)	31.8—140	大于 6	$F=10D^2$	10	1000	30
		从 6 到 3		5	250	
		小于 3		2.5	62.5	
有色金属及 合金(铝、轴 承合金)	8—35	大于 6	$F=2.5D^2$	10	250	60
		从 6 到 3		5	62.5	
		小于 3		2.5	15.6	

表 1.2 布氏硬度试验钢球直径和负荷选择表(二)

负荷 F 与钢球 D^2 之比	钢 球 直 径 D					硬度范围 (硬度值)	适用对象
	10	5	2.5	1.25	1		
30	3000	750	187.5	46.9	30.0	140—(945)	钢、灰口铸铁
10	1000	250	62.5	15.6	10.0	48—315	非金属材料、灰口铸铁热处理铝
5	500	125	31.2	7.8	5.0	23.8—158	退火铝
2.5	250	62.5	15.6	3.9	2.5	11.9—79	轴承合金
1.25	125	31.2	7.8	2.0	1.2	6.0—39	导线
0.5	50	12.5	3.1	0.8	0.5	2.4—15.8	非常柔软的材料

从表 1.1、表 1.2 可见,布氏硬度试验的钢球及负荷是可以任意选择的。但是,对于同一试样,采用不同直径的钢球及不同的负荷,要得到相同的硬度值;或者说,要获得可以比较的结果,如表 1.1、表 1.2 所示,只有在负荷与钢球直径的平方之比为一常数时才可能。

$$\text{即: } \frac{F}{D^2} = \frac{F_1}{D_1^2} = \frac{F_2}{D_2^2} = K \quad (1.4)$$

这个规则来源于相似律。根据这一原理,对于同一材料,用任何直径的钢球,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 两端所引两个钢球半径所组成的中心角,见图 1.4。

从中心 o 点作 ab , 或 $a'b'$ 的中垂线。

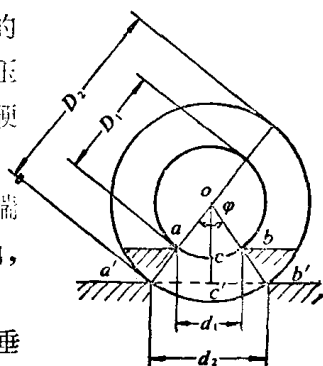


图 1.4 相似原理示意图