



陈 逸 李福波 编写

显微硬度试验

中国计量出版社

显微硬度试验

中国计量出版社

内 容 提 要

本书简要地介绍了显微硬度试验的原理、试验条件、误差分析和应用,并介绍了当前生产和科研中经常使用的几种显微硬度计、显微硬度量值的统一和传递与今后发展趋势。附录中收录标准试验法和有关显微硬度计及标准显微硬度块的检定规程,显微维氏硬度和努氏硬度计算表等。

本书适合于从事显微维氏硬度试验的工作人员和检测人员以及从事材料科学研究的人员阅读。

显微硬度试验

杨 旭 李佩欣 编著

责任编辑 陈艳春

—*

中国计量出版社出版

(北京海淀区三里河五号)

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

—*

开本 787×1092/32 印张 7 字数 162千字
1988年1月第1版 1988年1月第1次印刷

印数 1—10 000

ISBN 7 5026 0040-X/TB·86

定价 1.70 元

前 言

显微硬度试验在我国是近代掘起的硬度试验法。这 and 现代科学技术的迅速发展,特别是电子工业、精密机械工业和材料科学事业的发展紧密相关,也正因为如此,它尚未被人们所了解和熟知。就我们前几年在一些使用单位所见到的情况看,该试验法未被正确运用,有很多条件不具备,仪器不准确和操作不当的现象,结果造成显微硬度示值混乱,由此而引起的互相推诿、扯皮的事件经常发生。

自1979年我国建立了显微硬度基准,1980年开始进行量值传递以来,显微硬度的量值已基本统一。1984年国家又颁布《金属显微维氏硬度试验法》(GB 4342—84)以保证显微硬度试验的正确进行,为了确保仪器的正确使用,并获得准确、无误和可靠的试验结果,计量部门曾先后举办过显微硬度学习班,收到了良好的效果。本书即应从事显微硬度试验的工作人员和检测人员之邀,在原学习班所用讲义的基础上,根据实践中的问题结合国内外有关资料补充而成。

全书共分六章,分别介绍了显微硬度试验原理、试验条件、误差分析和常见的几种显微硬度计,以及显微硬度量值的统一和传递及其今后的发展趋势。附录中选录了标准试验法和有关显微硬度计及标准显微硬度块的检定规程,以及显微维氏硬度和努氏硬度计算表,以供试验时查阅。

我们衷心地希望此书能帮助读者进一步了解显微硬度试验法,有助于我国显微硬度试验的发展。但由于我们的水平有限,实践经验不足,加之仓促成稿,必有不妥之处,欢迎

广大读者指出。

本书在编写过程中承蒙中国计量科学研究院有关同志的支持和帮助，特在此致谢。

书中诸图由张金玲同志绘制。

编著者

一九八六年八月

概 述

“硬度”所表示的不是一个确定的物理量。关于硬度的定义，目前尚无统一的表达方式，一般认为是“材料抵抗弹性变形、塑性变形和反破坏的能力”。硬度值的获得不仅与材料的弹性极限、弹性模数、屈服极限、脆性乃至材料结晶状态、分子结构和原子间键结合力等有关，同时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，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。

硬度试验可以对产品质量和材料性能，实现迅速、准确而无损的检验，是当前生产和科研中必不可缺的检测手段。常用的硬度试验法有布氏、洛氏、维氏、显微、肖氏……等等很多。显微硬度试验是多种试验法中的一种。它不仅能检验材料的机械性能，还可以实现对物质的理化分析。随着现代科学技术的迅速发展，显微硬度试验近年来得到了广泛的应用。

显微硬度试验又称为微观硬度试验，其试验负荷均低于 9.807 N (1 kgf)，最小到 0.4903 N (50 gf) 或 0.245 N (25 gf)，至于一些低于 0.245 N (25 gf) 负荷的试验也有微小硬度试验之称。近年来国外有些硬度计，其试验负荷可达 0.00098 N (0.1 gf)。在试验负荷的规格方面，目前国际标准化组织尚无统一规定。我国是以 $0.4903\sim 9.807\text{ N}$ ($50\sim 1000\text{ gf}$) 为限，日本与我国同，但欲发展为 $0.0981\sim 9.807\text{ N}$ ($10\sim 1000\text{ gf}$)，美国标准试验手册中标明是 $0.0098\sim$

9.807 N (1~1000gf), 有些国家则采用 0.0981~4.903 N (10~500gf)。总之, 各国规格不一, 一般做定量测定的常用 0.490 N (50 gf) 以上负荷, 而 0.490 N (50 gf) 以下的负荷力多做定性分析用。

显微硬度试验有压入法和划痕法。压入法是以一定的负荷力通过压头压入试件。以压入法为试验原理的第一台显微硬度计是 1936 年由荷兰人里普思创建的, 它是以维氏硬度试验的正四棱角锥体为压头, 负荷力由 0.343~0.981 N (35~100gf)。随之 1939 年美国创建了利用长棱形金刚石角锥体 (努普压头) 为压头的显微硬度计得到了迅速的发展。1940 年苏联开始创建了目前尚在使用的 ПМТ-2 和 ПМТ-3 型显微硬度计。这种硬度计后来广为生产和使用。在我国一些厂矿和科研单位目前仍有使用。自五十年代起, 由于精密机械制造和仪器仪表等专业的迅速发展, 大大促进了显微硬度计的发展, 在德国、瑞士等国都相继出现了不同规格和不同结构的, 多种形式的显微硬度计。我国也由六十年代初期的仿制到七十年代的研制, 直至今日已有一些新型显微硬度计投入批量生产。

划痕法原是一种最古老的硬度试验法, 它起源于十八世纪, 而显微划痕仪则是 1920 年由比勒巴乌姆试制成的, 是用金刚石立方体以 0.0274 N (3gf) 的负荷划磨, 其硬度按所得划痕的宽度计算。划痕法在十九世纪后期, 由于它不能准确的确定硬度值而未能得到充分利用和发展。但近年来随着电子工业的发展, 一些箔片试件和镀膜元件的出现, 划痕硬度正再次显露头角。

通常所说的显微硬度均指压入法, 故本书对划痕法暂不做阐述。

显微硬度试验法 (以下简称显微硬度) 与其他硬度试验

法相比有很多优点:

(1) 试验负荷小, 不仅可以对金属材料进行测定, 同时可以对非金属材料进行测定, 并可对脆性材料的机械性能进行试验研究。如玻璃、贵重石料以及一些在大负荷下易碎裂的各种矿物等。显微硬度不仅可以确定物质的塑性, 同时能研究脆性的这一特性, 对于矿物是十分重要的。对于半导体材料也是很重要的。利用显微硬度试验, 可以对半导体材料的脆性和振荡等特性进行评价。

(2) 压入深度浅。利用显微硬度试验法可以研究薄表面层和镀层的机械性能。镀层在现代工艺中具有很重要的地位, 通过显微硬度的观测可以评价不同的加工法所获得的表面性质的变化, 一般是指光机和电机效应。

(3) 制造机械零件所用的各种金属和合金, 其组织结构也是不均匀的, 它们是由晶粒所组成, 每颗晶粒都是不大的单晶体, 测量显微硬度不仅可以获得不同晶粒的塑性和脆性, 同时可以得到晶粒内部的机械性质的变化。

(4) 当培植复杂的半导体时, 常常获得不均匀的材料, 即由两个或更多一些不同的相所组成的材料, 而这些相按其化学成分是不同的, 利用显微硬度可以分别确定出各个相的硬度, 以便研究这些材料的结构。

(5) 在无线电物理学中利用显微硬度试验法可以有效地表明材料在不同形式照射下, 其性质的变化(如X-射线、 γ -射线、电子流、中子流和其他粒子流的照射下)。照射一般是使材料强化, 即显微硬度值升高。

(6) 显微硬度试验法具有广泛的实用意义, 因为测量显微硬度(其他硬度试验也类似)是最快、最简单、相对最易实现的机械性能试验法之一。更重要的作用在于这种试验法可对已做好的零部件进行完全无损的直接检验。它可对其他

试验法无法测定的小零件、薄带、金属箔、金属丝和薄的镀层、保护层等等，以及经过机加工、压延摩擦和其他作用后金属表面层的变化等等进行测定。

(7) 通过显微硬度试验可对材料进行精密的理化分析，它是发掘新材料的必不可少的手段，是材料科学中一双特殊的“眼睛”。

(8) 显微硬度试验法不仅应用在物理学、工程学、矿物学和材料工艺学等方面，在医学方面也有应用，常用来测定人体牙齿和骨质的变化。

由上述可知，显微硬度试验法无论在生产上还是在科研中都具有广泛的用途，在轻工业生产中它是检验材料和加工工艺以及产品质量的主要手段。一支约有一百左右零件的机械表在生产过程中就有百分之七十的零部件要测定显微硬度。近年来，电子工业的迅速发展，使电子元件逐渐向着微型化、轻量化和高能化的方向发展，很多元件的厚度只能以 μm 计，甚至有些只有 $0.5\mu\text{m}$ 厚，这样显微硬度的测定在质量管理上就显得十分重要。

在金属学方面，显微硬度的使用领域更为广泛，是描绘金属状态图的重要依据。研究人员均利用对晶体、晶界、晶内的硬度差的研究来确定金属组织的状态。因此说，显微硬度是研制新材料、制备特种材料必不可少的手段，是进行精密理化分析的最佳方法。与当前迅速发展的材料科学有着紧密联系。显微硬度在未来的科学中必将得到更广泛的使用和发展。

目 录

概述	(1)
第一章 显微硬度试验原理、特点及应用	(1)
第一节 试验原理	(1)
第二节 显微硬度试验特点	(8)
第三节 显微硬度试验的应用	(9)
第二章 显微硬度试验条件	(18)
第一节 试样的制备	(18)
第二节 负荷的选择	(23)
第三节 压头	(29)
第四节 负荷的施加、保持与卸除	(30)
第五节 压痕测量装置	(32)
第六节 试验环境及其它	(33)
第三章 显微硬度试验误差来源	(39)
第一节 引起试验误差的因素	(39)
一、硬度计的影响	(39)
二、试样的影响	(40)
三、操作的影响	(41)
四、试验环境的影响	(41)
第二节 显微硬度测定误差的分析	(41)
一、负荷误差对硬度值的影响	(42)
二、压头的影响	(43)
三、压痕对角线的测量误差	(47)
四、试样对测量结果的影响	(49)
五、试验操作对测定结果的影响	(54)
六、试验环境对测试结果的影响	(59)

七、显微硬度测量误差的分类	(63)
第四章 显微硬度试验用仪器——显微硬度计	(65)
第一节 显微硬度计的结构分类	(65)
第二节 几种常见的显微硬度计	(67)
一、HX-1 型、631 型和 ПМТ-3 型显微硬度计	(67)
二、71 型显微硬度计	(71)
三、HX-1000 型显微硬度计	(75)
四、HXD-1000 型数字式显微硬度计	(80)
五、DURIMET (杜里门特) 显微硬度计	(82)
六、ISOMA (依索玛) 104 显微硬度计	(84)
七、HAUSER (豪赛因) 显微硬度计	(87)
八、WOLPERT (沃勒佩尔特) 硬度计	(90)
九、MVK 型显微硬度计	(94)
第五章 显微硬度示值的统一和传递	(100)
第一节 我国显微硬度基准	(100)
第二节 国外某些基(标)准显微硬度计	(103)
第三节 显微硬度示值的传递及检定系统	(109)
第六章 显微硬度试验的现状及其展望	(111)
第一节 显微硬度试验的现状	(111)
一、负荷范围的发展	(112)
二、高温下的试验——高温显微硬度计	(112)
三、负荷机构的发展	(113)
四、测量系统的演变	(113)
五、自动控制程度	(119)
第二节 显微硬度的展望	(120)
一、发展趋势	(120)
二、显微硬度试验尚待研究解决的问题	(121)
附录 I 金属显微维氏硬度试验方法	
GB 4342—84	(124)
附录 II 标准显微硬度块检定规程 JJG 335—83	

	(试行)	(130)
附录Ⅲ	显微硬度计检定规程 JJG 260—81	
	(试行)	(135)
附录Ⅳ	维氏显微硬度值表	(141)
附录Ⅴ	努氏 (Knoop) 硬度值表	(173)
参考文献		(208)

第一章 显微硬度试验原理、

特点及应用

第一节 试验原理

显微硬度试验即指压入法试验，其试验原理，是以一定形状的坚硬物体（金刚石压头）在一定的负荷作用下，以规定的速度压入被试物体表面，并保持一段时间后卸除负荷，然后测量所得压痕的大小，以压痕尺寸代入公式计算求得硬度值，或查表得出对应的硬度值。由于显微硬度可以采用多种形式的压头，故，所用计算公式和根据公式计算出的专用表格也不同。现分述如下：

1. 维氏显微硬度

该试验原理与维氏硬度试验相同，是以两相对面夹角为 136° 的正四棱金刚石角锥体为压头，在一定负荷作用下压入被试物表面，并保持规定的一段时间后卸除负荷，测量所得压痕的两对角线长，取其平均值，然后查表或代入公式计算，求得硬度值。

硬度值是用压痕表面积上所承受的平均压力来表示，按下式计算：

$$HV = 0.102 \frac{F}{S} \quad (1.1)$$

式中：HV——维氏显微硬度值；

F——作用在压头上的负荷力 (N)；

S ——压痕表面积 (mm^2).

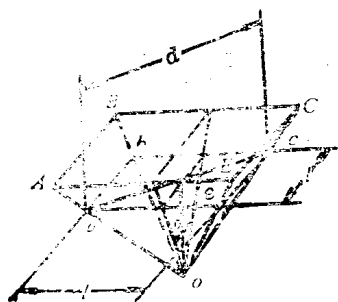


图 1.1 金刚石角锥体示意图

图 1.1 是两对面夹角为 136° 的金刚石正四棱角锥体的示意图, $ABCE$ 为正方形, $abce$ 也是正方形, $oabce$ 表示压入试样表面的压陷部分, 即压痕表面。设 l 为正方形 $abce$ 之边长, d 为正方形的对角线, 即压痕对角线。则压痕面积 S 等于:

$$S = 4 \times \frac{l}{2} \times \frac{l}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \quad (1.2)$$

$$l = \frac{d}{\sqrt{2}}$$

将此值代入式 (1.2) 则得:

$$S = \frac{d^2}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \quad (1.3)$$

式中: α ——压头两棱面夹角, 136° 。

将 S 值代入公式 (1.1)

$$\text{HV} = 0.102 \frac{2 F \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 0.1891 \frac{F}{d^2} \quad (1.4)$$

式中: d ——压痕对角线的平均长度 (mm)。

利用公式 (1.4) 按各种负荷力下所得大小不等的压痕对角线长度, 计算出相应的各种硬度值, 并依次序列成表

格。试验时只需测得压痕对角线的平均值，对应所选用的负荷力查表，即可得出维氏显微硬度值。该表列于附录IV。

由于硬度值与负荷之间有一定的依从关系，为使试验结果具有可比性，所得硬度值必须注明使用的负荷力，一般以 $HV_{0.0401}$ 表示，0.5 即表明负荷为 4.903 N (500gf)，401 为所得硬度值。

2. 努普(Knoop)硬度，也有人称努氏硬度，它是采用金刚石长棱形压头，如图 1.2 所示，两长棱夹角为 $172^{\circ}30'$ ，两短棱夹角为 130° 。其硬度值为所用负荷与所得压痕投影面积之比，即单位投影面积上所承受的负荷，按下式计算：

$$\begin{aligned} HK &= 0.102 \frac{F}{S} = 0.102 \frac{F \times 2 \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \beta}{d^2} \\ &= 0.102 \times 14.23 \frac{F}{d^2} \cong 1.4515 \frac{F}{d^2} \end{aligned}$$

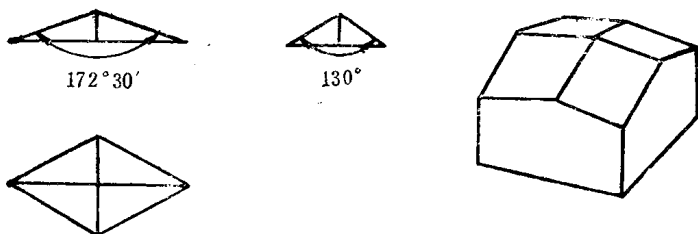


图 1.2 努普压头顶端投影及示意图

式中：HK——努普硬度值；

α ——压头两长棱夹角之半，即 $86^{\circ}15'$ ；

β ——压头两短棱夹角之半，即 65° ；

F ——施加在压头上的负荷力 (N)；

S ——压痕投影面积；

d ——压痕长对角线长度 (mm)。

此种压头主要用于测定较硬、较脆的试件，它可以使所得压痕对角线增长，长对角线约为短对角线的七倍，在同样负荷下，正四棱角锥体压头和努普压头所得的压痕深度，后者要比前者小得多，约为前者的百分之八十。而压痕对角线的长度约为前者的三倍。所以，此种压头宜于测定薄镀层和脆性材料，如玻璃、玛瑙、碳化物及其他矿物质等非金属材料。

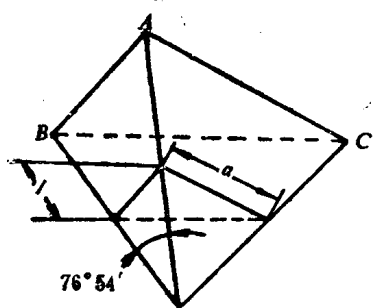


图 1.3 三角形角锥体压头

3. 三角形角锥体压头，又名别尔阔维契压头，此种压头是为消除四棱锥体易于产生的顶端横刃而提出的。其形状如图 1.3 所示。为了使该压头所获得的压痕深度与正四棱角锥体压头在同一负荷下所得的压痕深度相同，而选择棱与棱之间的夹角为 $76^{\circ}54'$ 。利用该压头所测定的硬度值按下式

计算：

$$\begin{aligned} HV_{\Delta} &= 0.102 \times \frac{2.092 F}{a^2} \\ &= 0.102 \times \frac{1.569 F}{l^2} \end{aligned}$$

式中： F ——施加在压头上的负荷 (N)；
 a ——压痕边长 (mm)；
 l ——压痕顶点到对边的距离 (mm)。

$$l = 0.866 a$$

硬度值实际是负荷与所得压痕表面积的比，此种压头多用于测定非脆性的高硬度材料。其压痕深度 (h) 是其边长 (a) 的 0.135 倍。

4. 双锥形压头，又名坎特·哥拉得金斯克 (Kent Grodzinski) 压头。在测定高硬度材料时，使用金刚石角锥体压头往往顶端由于应力集中，有可能崩裂。1950 年哥拉得金斯克提出由两个同轴圆锥体形状组成的金刚石压头见图 1.4(a)，锥底半径 r 为 2 ± 0.1 mm，双锥面夹角 2α 为 $154^\circ \pm 1^\circ$ 。如图 1.4 (b) 所示。所得压痕呈船形，长宽之比为 22 : 1，其深度是长度的八十分之一。硬度值按下式计算：

$$HV_{\text{双锥}} = 0.102 c \frac{F}{l^3}$$

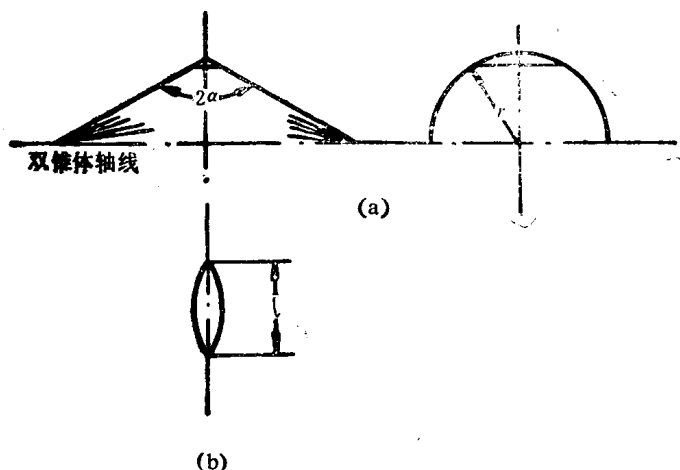


图 1.4 双锥形压头顶端示意图，及所得压痕形状

式中： F ——负荷 (N)；
 l ——压痕长度 (mm)；

c ——常数,其单位为长度单位, $c = 67 \times \text{ctg } \alpha$; 对于标准压头 $c = 2.770$ 。

这种压头对试样表面破坏程度最小,压入深度最浅。如果压头有损伤,金刚石角锥体可以转动一定角度后继续使用。但该压头也具有很大缺陷,即完全不符合相似定律。而且硬度示值与压头的几何尺寸有很大的关联,同时对试件的表面光洁度要求也较高。

5. 船底形压头,又名阿其给尔压头,其形状如图 1.5。

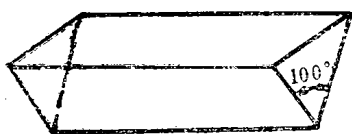


图 1.5 船底形压头示意图

这种压头主要用来测定直径小于 1 mm 的圆柱形试件,如钟表轴或导线等。这些试件若经过磨平后再测定硬度,其金相组织有可能发生变化而影响硬度值,使测试结果失真。若用这种压头就不须磨平试

件,而直接测定硬度。

压头两棱面夹角为 100° 。测定时要压头的棱线垂直于试样的轴线,要通过试验后在对数计算纸上画的负荷与压痕长度的关系曲线上选定以压痕长度 $l = R/2$ 时的负荷 F ; 式中 R 为试样半径,然后按下式计算:

$$\text{HV}_{10} = c \frac{F}{R^2}$$

若 F 以 N 为单位,则该需乘以 0.102, 式中 c 为常数,

$$c = 48 \cos \alpha \cong 30.85 \quad \left(\alpha = \frac{100^\circ}{2} = 50^\circ \right).$$

6. 双柱形压头。这种压头的形状是由两个半径 R 为 2 mm 的圆柱体相交而成。两柱体轴线在同一平面上,其夹