

主编 林巨才
主审 施昌彦

现代硬度测量 技术及应用

XIANDAI YINGDU CELIANG
JISHU JI YINGYONG



中国计量出版社

CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

现代硬度测量技术及应用/林巨才主编. —北京:中国计量出版社, 2008.3

ISBN 978-7-5026-2756-0

I. 现… II. 林… III. 硬度试验 IV. TB302.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 171659 号

内 容 提 要

本书较全面、系统地阐述了硬度试验方法和测量仪器。在介绍国内外硬度测量标准的基础上阐述了传统的静态和动态硬度试验方法和仪器。还介绍了近年来得到应用的微小洛氏、超显微和纳米压痕硬度等多种试验方法及高温、放射性硬度试验等。另外,本书还介绍了国内、国际硬度量值比对,硬度测量结果的测量不确定度评定等。

读者对象:从事金属和非金属材料及制品的硬度计量测试工作的工程技术人员以及硬度计量器具的研制、使用人员;大学和中专有关专业的师生。

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>

北京市密东印刷有限公司印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

787mm×1092mm 16 开本 印张 19.75 字数 457 千字

2008 年 6 月第 1 版 2008 年 6 月第 1 次印刷

*

印数 1-2 000 定价: 60.00 元

编委会名单

顾 问	李庆忠	刘美生	金文博	杜铭心
主 审	施昌彦			
主 编	林巨才			
副主编	程新选	何 力	杨杰斌	王同仁
编 委	林巨才	程新选	何 力	杨杰斌
	王同仁	邹绪春	米歇尔·康帕希尔	(瑞士)
	真下美佐男	(日本)	谢 驰	段 凯
	鲁志刚	张中杰	赵建新	程 锴

前 言

硬度测量是材料力学性能试验中应用最广、涉及领域最多的试验技术。从微观纳米材料到宏观结构部件，都需要进行硬度测量。它还是研究新材料、开发新工艺和新产品的重要技术基础之一。

硬度测量方法及仪器发明百年来，硬度测量技术和理论迅速发展，得到世界各国和国际组织普遍重视。国际计量联合会（IMEKO）设立了“硬度计量技术委员会（TC5）”，国际标准化组织金属力学试验委员会设有硬度试验分委员会（ISO/TC164/SC3）。我国和各工业国家（美国、德国、英国、日本等）也都有相应的组织机构，先后制定了布氏、洛氏、维氏、努氏、别氏、马氏、肖氏和里氏等硬度试验方法及硬度测量仪器、压头和标准硬度块等一系列标准和法规，奠定了硬度测量技术的基础。随着科学技术的发展，很多国家对硬度测量技术进行了大量的研究和频繁的学术交流，取得了丰硕的成果，也提出了很多值得探讨的新课题。

本书以大量翔实的资料阐述了金属和非金属硬度测量的理论和实践。在国内外硬度测量标准的基础上阐述了传统的静态和动态硬度试验方法和仪器。还介绍了近年来得到应用的微小洛氏、超显微和纳米压痕硬度等多种试验方法（包括仪器化压痕试验测定硬度和材料参数）以及高温、放射性硬度试验等，包括大量硬度研究结果和应用举例，以反映硬度测量技术的发展趋势。此外还讲述了国内外硬度、量值比对和测量结果不确定度的评定方法。从而全面、系统地涵盖了硬度理论、试验方法、测量仪器和计量实践。

本书编委会汇集了国内外资深专家，参考了大量国内外硬度测量的相关文献资料，收集了硬度测量技术及其应用的最新成果，精心编写了此书。本书共分九章，第3章第2节微小洛氏硬度测量技术及其应用由真下美佐男（日本湘南工科大学）教授编写。第5章第4节的便携式依阔斯达洛氏硬度测量技术及其应用由米歇尔·康帕希尔博士（Dr. Michael · Kompatscher，瑞士帕劳西克公司（PROCEQ SA）物理学家、材料科学家、材料试验产品经理）编写。第1章、第2章的第2节和第4节、第4章的第3节、第5章的第1节、第6章的第1节、第3节和第4节及第6节、第8章（部分内容）和第9章的第3节由林巨才高工（中国测试技术研究院，以下简称“中测院”）编写，并负责第8章的统

稿。第3章的第1节（包括第8章中的第4节国内洛氏硬度计量和量值比对）和第8章的第6节由程新选教授级高工（河南省计量科学研究院）负责编写；此外，他还负责本书的初审工作。第4章的第1节和第2节（包括第8章中的马氏硬度计量）由何力高工（中国计量科学研究院）负责编写。杨杰斌硕士、高工（中测院）负责编写第4章的第4节。王同仁教授级高工（长春试验机研究所）负责编写第6章的第5节和第7章的第2节以及第8章中的橡胶硬度计量。邹绪春研究员（中测院）负责编写第5章的第2节。谢驰教授（四川大学）负责第9章的第1节和第2节的编写。段凯高工（中测院）负责编写第2章的第3节（包括第8章中的努氏硬度计量）。鲁志刚工程师（中测院）负责编写第5章的第3节及第8章中的里氏硬度计量。张中杰工程师（河南省计量科学研究院）负责编写第6章的第2节包括第8章中的球压痕硬度计量。赵建新高工（河南省计量科学研究院）负责编写第2章的第1节和第8章中的布氏硬度计量。程锴硕士（河南省锅炉压力容器检验研究院）负责编写第7章的第1节。

全国测力硬度计量技术委员会顾问、中国计量科学研究院李庆忠研究员，中国测试技术研究院副院长刘美生研究员，长春试验机研究所金文博教授级高工，中国计量科学研究院原力学处和认证处处长杜铭心高工作为本书的顾问。

国际计量联合会（IMEKO）、硬度计量技术委员会（TC5）委员、中国计量科学研究院原总工程师施昌彦研究员担任本书的主审。

最后，感谢国内外有关朋友的支持和帮助，详见后记。

由于水平有限，虽经多次修改，难免仍会有不妥和错误之处，恳请读者批评指正。

主 编：林巨才

2008年4月26日

目 录

第 1 章 硬度测量概述	1
1.1 概述	1
1.1.1 硬度测量的特点	1
1.1.2 硬度测量方法的分类	2
1.2 硬度测量与计量	6
1.2.1 硬度测量方法的选择	6
1.2.2 硬度测量的工作程序	8
1.2.3 硬度计量	9
1.3 硬度测量技术的应用	11
1.3.1 硬度与金属材料其他力学性能的关系	11
1.3.2 硬度与金属材料物理性质的关系	23
1.3.3 硬度与金属材料化学性质的关系	27
1.3.4 硬度与金属材料金相组织的关系	29
1.3.5 硬度与原子间距离、原子序数的关系	31
1.4 硬度测量技术有关理论的应用	33
1.4.1 概述	33
1.4.2 硬度理论	35
1.4.3 纳米压痕硬度测量理论	45
参考文献	45
第 2 章 布氏、维氏、努氏和别氏硬度测量技术及其应用	47
2.1 布氏硬度测量技术及其应用	47
2.1.1 概述	47
2.1.2 布氏硬度试验标准	47
2.1.3 布氏硬度试验方法	48
2.1.4 常用布氏硬度计	54
2.1.5 布氏硬度测量技术的应用	54
2.2 维氏硬度测量技术及其应用	58
2.2.1 概述	58
2.2.2 维氏硬度试验方法	59
2.2.3 常用维氏硬度计	63
2.2.4 维氏硬度测量技术的应用	65

2.3 努氏硬度测量技术及其应用	71
2.3.1 概述	71
2.3.2 努氏硬度试验方法	71
2.3.3 常用努氏硬度计	74
2.3.4 努氏硬度测量技术的应用	74
2.4 别氏硬度测量技术及其应用	77
2.4.1 概述	77
2.4.2 别氏硬度试验方法	77
2.4.3 别氏硬度计	80
参考文献	81
第3章 洛氏硬度测量技术及其应用	83
3.1 洛氏硬度测量技术及其应用	83
3.1.1 概述	83
3.1.2 洛氏硬度试验标准	84
3.1.3 洛氏硬度试验方法	84
3.1.4 常用洛氏硬度计的分类	89
3.1.5 洛氏硬度测量技术的应用	89
3.2 微小洛氏硬度测量技术及其应用	100
3.2.1 概述	100
3.2.2 微小洛氏硬度试验方法	100
3.2.3 常用微小洛氏硬度计	101
3.2.4 应用举例	103
参考文献	108
第4章 仪器化压痕硬度测量技术及其应用	110
4.1 概述	110
4.1.1 仪器化压痕硬度〔马氏(万能)硬度〕试验	110
4.1.2 特点和用途	110
4.2 仪器化压痕硬度测量技术及其应用	111
4.2.1 仪器化压痕硬度试验标准	111
4.2.2 仪器化压痕硬度试验方法	112
4.2.3 仪器化压痕硬度测量技术的应用	120
4.3 显微和超显微别氏硬度(HTL)测量技术	121
4.3.1 概述	121
4.3.2 超显微别氏硬度试验方法	122
4.3.3 超显微别氏硬度(HTL)测量技术的应用	126
4.4 纳米压痕硬度测量技术及其应用	130
4.4.1 概述	130
4.4.2 纳米压痕硬度测量技术的产生	131

4.4.3 纳米压痕硬度测量技术	131
4.4.4 纳米压痕硬度测量技术的应用	141
参考文献	151
第5章 动态力肖氏和里氏硬度测量技术及其应用	154
5.1 概述	154
5.1.1 弹性回弹高度（或速度）测量硬度理论及应用	154
5.1.2 肖氏硬度试验方法和仪器的发展	158
5.2 肖氏硬度测量技术及其应用	159
5.2.1 肖氏硬度试验标准	159
5.2.2 肖氏硬度试验方法	159
5.2.3 常用肖氏硬度计	163
5.2.4 肖氏硬度测量技术的应用	168
5.3 里氏硬度测量技术及其应用	175
5.3.1 概述	175
5.3.2 里氏硬度试验方法	176
5.3.3 常用里氏硬度计	183
5.3.4 里氏硬度测量技术的应用	188
5.4 依阔斯达洛氏硬度测量技术及其应用	192
5.4.1 概述	192
5.4.2 依阔斯达（EQUOSTAT）HRZ 洛氏硬度测量方法	193
5.4.3 依阔斯达硬度计的校准	196
5.4.4 依阔斯达硬度测量的应用	197
参考文献	199
第6章 塑料硬度和橡胶硬度测量技术及其应用	200
6.1 概述	200
6.1.1 塑料和橡胶材料硬度测量技术	200
6.1.2 塑料和橡胶材料硬度试验方法	201
6.1.3 试验导则和标准实验室条件	201
6.2 塑料和硬质橡胶材料球压痕硬度测量技术及其应用	203
6.2.1 塑料和硬质橡胶材料球压痕硬度试验方法	203
6.2.2 塑料和硬质橡胶材料球压痕硬度试验标准	204
6.2.3 塑料和硬质橡胶材料球压痕硬度试验方法	206
6.2.4 常用塑料和硬质橡胶材料球压痕硬度计	207
6.2.5 塑料和硬质橡胶材料球压痕硬度测量技术的应用	208
6.3 邵氏硬度测量技术及其应用	210
6.3.1 邵氏硬度试验方法的发展	210
6.3.2 邵氏硬度试验的标准	211
6.3.3 邵氏硬度试验方法	211

6.3.4	常用邵氏硬度计	219
6.3.5	邵氏硬度测量技术的应用	219
6.4	巴氏硬度测量技术及其应用	221
6.4.1	概述	221
6.4.2	巴氏硬度试验方法	223
6.4.3	常用巴氏硬度计	224
6.4.4	巴氏硬度测量技术的应用	224
6.5	国际橡胶硬度测量技术及其应用	225
6.5.1	国际橡胶硬度标尺的溯源	225
6.5.2	国际橡胶硬度试验的标准	226
6.5.3	国际橡胶硬度试验方法	226
6.5.4	常用国际橡胶硬度计	232
6.5.5	国际橡胶硬度测量技术的应用	235
6.6	泡沫聚合物材料压陷硬度测量技术及其应用	238
6.6.1	泡沫聚合物材料压陷硬度试验方法	238
6.6.2	其他泡沫聚合物材料硬度计	241
6.6.3	泡沫聚合物材料压陷硬度测量技术的应用	243
	参考文献	245
第7章	其他硬度测量技术及其应用	248
7.1	金属、合金及精细陶瓷材料的高温硬度测量技术及其应用	248
7.1.1	概述	248
7.1.2	金属、合金及精细陶瓷材料的高温硬度测量技术	249
7.1.3	高温硬度计	252
7.1.4	高温硬度测量技术的应用	253
7.2	放射线辐照环境下的核燃料和材料的硬度测量技术及其应用	259
7.2.1	概述	259
7.2.2	高能中子辐照材料前后的硬度测量技术及应用	260
7.2.3	核燃料和材料在中子辐照前后的硬度测量技术及其应用	263
	参考文献	264
第8章	硬度计量检定和量值比对	266
8.1	概述	266
8.1.1	常用硬度计量名词术语	266
8.1.2	国家硬度计量基准	267
8.2	硬度计量检定系统	267
8.2.1	金属硬度计量检定系统	267
8.2.2	塑料和国际橡胶硬度计量检定系统	268
8.3	标准硬度块的检定	268
8.3.1	检定条件	268

8.3.2 技术要求	268
8.3.3 硬度块检定装置	274
8.3.4 检定方法	275
8.4 国内硬度量值比对	276
8.4.1 硬度量值比对	276
8.4.2 一例国内洛氏硬度标准计示值比对	276
8.5 我国硬度计基(标)准装置概况	278
8.5.1 洛氏硬度计量基(标)准装置	278
8.5.2 维氏硬度计量基准装置	278
8.5.3 布氏硬度计量基(标)准装置	279
8.5.4 回(反)弹肖氏硬度(D标尺)计量基准装置	279
8.5.5 激光里氏硬度标准装置	279
8.5.6 其他硬度计量基准装置	280
8.6 关于实现国际硬度量值统一的设想	280
8.6.1 国际硬度计量检定系统和量值溯源系统	280
8.6.2 硬度计量的发展动向	280
第9章 硬度测量不确定度评定与表示	282
9.1 概述	282
9.1.1 正确评定测量不确定度的意义	282
9.1.2 测量误差、准确度及不确定度	282
9.1.3 测量不确定度等术语的定义	283
9.2 测量不确定度评定程序	285
9.3 硬度测量不确定度的评定	286
9.3.1 概述	286
9.3.2 硬度测量值的函数关系式	286
9.3.3 硬度测量不确定度的传播公式	287
9.3.4 布氏硬度测量不确定度的计算	295
9.3.5 布氏硬度标准块平均值测量不确定度的计算	298

第 1 章 硬度测量概述

1.1 概 述

硬度不是物理量，但是可测量的量。一般说来，硬度是表达固体材料的力学性能的量，是与强度相关的力学性能的量。直到现在人们还未能给它一个比较确切的解释。

1.1.1 硬度测量的特点

硬度测量主要有以下八大特点。

A. 相关性

金属硬度与其静态力的力学性能指标（强度）之间存在一定的关系。经硬度试验后，可近似地推测出其抗拉强度等力学性能指标。对于以强度作为主要力学性能指标的材料和零件来说，硬度试验具有广泛的实用意义。

B. 简便性

硬度计的结构大多数比较简单，试验人员可以在短时间内掌握其试验技术。

C. 唯一性

在有些情况下，硬度试验不需制备试样，试（件）片大小形状不受限制，如热处理后的刀具、工具、淬火零件、整体部件（如轧辊）和仪表的细小零件等。这时，硬度试验是唯一可能进行的可靠的力学性能试验。

D. 非破坏性

硬度试验后只在材料、试件表面局部区域留下很小的痕迹，这些痕迹在多数情况下对于试件的使用无影响，可视为无损试验。

E. 机动性

人们可以在固定的硬度计上对试件进行硬度试验，还可以携带小型硬度计到生产现场对试件进行硬度试验。对于重要的产品可以 100% 即逐件进行硬度试验。

F. 高效率

硬度试验有很高的效率，每小时可试验 200~300 件。

G. 微观性

硬度试验可以鉴定金属的组织（如显微硬度测量），也可以检验薄板（薄片）或表面层（如镀层、渗碳层、渗氮层等）的质量。

H. 扩展性

硬度试验的对象已扩展到对橡胶、塑料及复合材料及其制品。既能测量软质材料的硬度还能测量硬质材料的硬度，如金刚石的硬度；既能测量宏观材料的硬度，还能测量微观纳米材料的硬度。

1.1.2 硬度测量方法的分类

1.1.2.1 试样或试件抵抗研磨、切削、钻孔等能力的硬度测量方法

A. 锉刀锉削测量法

这种方法是 1631 年由布赫包姆 (B. Buxbaum) 发明的。在我国已标准化，即 GB/T 13321—1991《钢铁硬度锉刀检验方法》。它适用于现场测量硬度，其硬度范围为 (39~67)HRC。

标准锉刀是双纹扁锉 (150mm 和 200mm) 和圆锉 ($\phi 4.3\text{mm} \times 175\text{mm}$)。每 25mm 长度内应有 50~60 齿。标准锉刀和标准硬度块的硬度级别为 65, 62, 58, 55, 50, 45, 40HRC。

测量方法：被测件用标准块承受的压力一般在 (45~53) N 测量时，使锉刀少数几个锉齿与被检测件相接触，再缓慢地多次锉削。一般应选用最高一个等级硬度的锉刀，从高硬度到低硬度，逐级对被检测件进行测量检验，直到锉刀不能锉削被测件至发生打滑现象为止。再用比该级锉刀硬度高一个等级的标准锉刀用相应的标准硬度块与被测件对比进行判别。

B. 砂轮磨削测量法

此方法是俄国罗蒙诺索夫 (M. B. ЛОМОНОСОВ) 在 1733 年提出的。他把被测件在一定试验力的作用下压紧在磨轮的端面进行一定时间的摩擦，根据该物体被磨掉的重量判断其硬度的高低。试件被磨掉的重量与硬度成反比，即物体被磨掉的重量越多，其硬度越低。1955 年格罗梯茨基 (P. Grodzinski) 在一篇论文中说该法与划痕法相似，研磨测量也是一种磨粒磨损过程。

C. 切削法

该法是按照物体在规定条件下的加工性，用具有一定形状的锋利工具从初测试样或工件的表面上，切下一块标准尺寸的小薄片。

1.1.2.2 划痕硬度测量法

该法是根据试件被一个较硬的物体划伤，或者它将一个较软的物体划伤的能力来测定硬度的。该方法得到的硬度试验结果，取决于材料的强度极限和表面粗糙度。

A. 划痕硬度试验法

1912 年德国马尔坚斯 [A. Martens (1850~1914 年)] 提出了金刚石划针划痕硬度试验法^[9]。所用硬度计的示意图，如图 1-1 所示。根据所用圆锥体 (90°) 划出规定宽度 ($b=10\mu\text{m}$) 时所需要的试验力 P 来确定划痕硬度值 $H_{r(Ms)}$ 。

$$H_{r(Ms)} \sim P/b_{(10\mu\text{m})} \quad (\text{N/mm}) \quad (1-1)$$

以后，梅耶尔 (E. MEYER) 改为以单位划痕抗力作为硬度的量值。它等于

$$Hr_{(M)}=\frac{8P}{\pi b^2}=C\frac{P}{b^2}$$

(1-2)

式中：Hr_(M)——梅氏划痕硬度；

P——试验力，N；

C—— $C=\frac{8}{\pi}$ ；

b——划痕宽度，b=0.01mm。

梅氏划痕硬度 Hr_(M) 与马氏划痕硬度 Hr_(Ms) 的关系如下：

$$Hr_{(M)}=25.5\ Hr_{(Ms)}$$

(1-3)

马尔坚斯对莫氏矿石标准的硬度测定结果，如表 1-1 所示。

表 1-1 莫氏硬度标尺与其他硬度标尺的比较

序号	物质名称	莫氏硬度	新莫氏硬度 (李德日维耶)	马氏硬度 Hr _(Ms)	别氏划痕 硬度 Hbi	努氏硬度 HK	赫鲁晓夫维 氏硬度 ^① HV	泰勒 (Taylor) HV0.05	布氏硬度 HBS
1	滑石	1	1	6	1		2.4	47	3
2	石膏或岩盐	2	2		11	32	36	60	12 或 31
3	方解石	3	3	40~50	129	135	109	105~136	53
4	萤石	4	4	55	143	163	189	175~200	179~228
5	磷灰石	5	5	60	517	360 (平行于轴) 430 (垂直于轴)	536	659	387~454
6	正长石	6	6		975	560	795	714	
7	石英玻璃		7		2700	675			
8	水晶 (结晶石英) (平行于轴)	7	8	90~100		710	1120	1100~1250	685
9	黄玉	8	9	208	3420	1250	1427 ^②	1648	720 (马氏体, 钢 0.9%C)
10	花岗岩		10			—			
11	熔炼锆石 (氧化锆石)		11			—			
12	钢铝石 (刚玉)	9	12		5300	1635	2060	2085	
13	碳化硅		13			2000			
14	碳化硼		14			2230			840 (碳化钨球)
15	金刚石	10	15			(8000~8500)	10060		

注：①：用维氏压头测量得到的维氏硬度；②：氮化淬火高速钢。

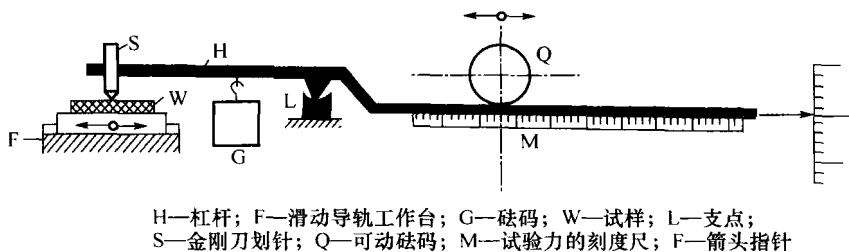


图 1-1 马氏划痕硬度计示意图

B. 划痕硬度显微测量法

1920 年，别尔巴乌姆 (C. H. Bierbaum) 发明划痕硬度的显微测量法（有人称此法为刻槽法）。别尔巴乌姆研制的硬度计，采用的是三棱金刚石角锥体（立方体的顶端）划针，它装在弹簧支架上，划痕时支架对金刚石划针可产生 0.02492N 试验力。划痕之前，首先应在试样上涂一薄层高级油，用螺旋缓慢地使试样相对于固定的金刚石划针作相对移动，并且用正三棱角锥体的一个棱像刀具一样工作，这一个棱对试件表面倾斜角为 35.246° 。用带有 1.5mm 油浸物镜的显微镜和目镜螺旋测微计来测量划痕宽度。其硬度按式 (1-4) 计算：

$$Hbi = \frac{10^4}{d^2} \quad (1-4)$$

式中：Hbi——别氏划痕硬度；

d ——划痕宽度， μm 。

该法可用于电镀层的硬度测量和多相合金的组成物的硬度测量。别尔巴乌姆划痕硬度计如图 1-2 所示。由于试验力小，划痕宽度小，所试验的结果一般不与静力硬度值作比较。对莫氏矿石硬度标准的测量结果，也如表 1-1 所示。

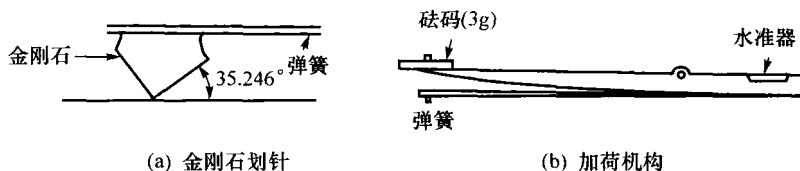


图 1-2 别氏划痕硬度计

C. 纳米划痕硬度法

对于纳米材料或纳米薄膜试件就要应用纳米划痕硬度计进行纳米划痕硬度试验。目前，纳米划痕硬度计主要针对研究材料抵抗正压力为小试验力如 1~100mN 范围内的刻划能力而设计的，已能定量分析材料表面的摩擦行为和描述划痕变形机理。同以前的划痕硬度计相比较，提高了试验力和位移的分辨力，并改进了对临界试验力的确定方式。

纳米划痕硬度计主要通过测量棱锥体压头或光滑旋转体压头在法向和切向上的试验力和位移的连续变化过程，研究摩擦性能、塑性性能和断裂性能。仪器有两种：第一种是纳米划痕硬度计和压痕硬度计合二为一，划痕针的法向力和压痕深度由高分辨率的压痕针提供，同

时记录匀速移动试台的位移,使压头沿试样表面进行刻划,切向力由压杆上的两个相互垂直的力传感器测量。第二种是纳米划痕硬度计和压痕计相互独立。压杆上装有声发射装置,辅助检测材料的破裂或薄膜与基体剥离的发生。用何种压头要据材料性质而定。划痕硬度法是目前惟一能够有效地测量硬度耐磨膜层界面结合力的一种方法。其缺点是难以避免基体自身弹塑性变形的影响。

1.1.2.3 静态力压痕硬度测量法

静态力压入测量法是测量试样受相同材料或别种标准材料制造的压头的静力压入而产生的塑性变形来测量硬度的。用这种方法所测得的硬度,主要取决于材料的塑性。有时称之为压痕硬度。测量硬度时,可以用静力把压头压入到材料试样中去,而材料的弹性性能在试验过程中起的作用不大。分为以下三种硬度测量方法,一种是根据一定试验力制作压痕,用压痕的表面积或投影面积上的压力表示,如:布氏、维氏、努氏和别氏(俄罗斯的 E. C. Беркович)硬度;另一种是在规定试验力下制作压痕,用测量压痕深度的原理计算硬度值,如洛氏硬度(用残余压痕深度)和非金属应用的邵氏及巴氏硬度(直到压入一定压痕深度所需要的荷重);再有一种是根据施加和卸除试验力来制作压痕,用试件上施加的试验力-压痕深度或试验力-位移曲线来表示的仪器化压痕硬度,如用维氏压头的马氏 HM_V (万能 HU_V)和别氏压头的马氏 HM_T (万能 HU_T)硬度等。一般称此法为静态力压痕硬度测量方法,该方法的发展史及标准化的现状,如表 1-2 所示。

1.1.2.4 动态力硬度测量法

硬度的动态力测量方法,即是在动态力条件下用动态力硬度计对试件进行的硬度测量。这种测量方法在工程技术和科学研究工作中正在获得越来越广泛的应用。同静态力压痕硬度测量方法一样,硬度的动态力测量方法得到的结果取决于测量条件。单纯从工业应用的观点来看,测量迅速是动态力测量方法的最大优点。所有的动态力测量方法,基本上可以分成以下两大类。

A. 动态力压痕硬度测量方法(动态力-塑性硬度测量方法)

其原理是测量标准冲头冲击材料而产生的恢复压痕。在该方法中,材料在冲头作用下产生的塑性变形起着主要的作用。其硬度测量方法主要有锤击式布氏硬度测量法和弹簧打击式布氏硬度测量法。

B. 反弹式硬度测量法(冲击能量测量方法)

主要有两类。1906 年美国的肖尔(A. F. Shore)提出了测量冲头残余势能的方法,称肖氏硬度试验方法。还有 1978 年瑞士的里伯(D. Leeb)提出了测量冲头残余动能的方法,称为里氏硬度测量方法。

1.1.2.5 阻尼硬度测量法

赫氏(Herbert)摇摆硬度测量法是把一个具有坚硬支承点的赫氏摆的摆幅变化,当作硬度的度量。该支承点位于被测工件或试样的表面上,由于摆的支承点与被测表面的相互作

用,所引起的沿被测表面摆幅的变化不同,该方法又分为时间硬度、刻度值硬度、接受加工硬化能力和衰减试验四种硬度测量法,详见参考文献。

1.1.2.6 冲蚀硬度测量法

砂轮硬度测量法是在标准条件下用河砂或其他粒状磨料冲射到被测工件或材料试样的表面上,并以材料在给定时间内的损耗重量作为硬度的度量。它是砂轮硬度试验的主要方法。

1.1.2.7 其他硬度测量方法

A. 以测量材料的名称而命名的硬度测量法

硬质合金硬度测量法;陶瓷硬度测量法;铝合金硬度测量法;贵金属材料硬度测量法;玻璃硬度测量法;电碳和石墨材料硬度测量法;塑料硬度测量法;橡胶硬度测量法;木材硬度测量法;石材硬度测量法及纳米材料硬度测量法等。

B. 利用电声、电磁和射线等物理方法的间接硬度测量法

超声波硬度测量法;金属材料的电磁性质的比较硬度测量法;用金属材料的电涡流测量法的比较硬度及利用放射线的硬度测量法。

C. 按测量的温度分类

常温硬度测量法;高温硬度测量法及低温硬度测量法。

1.2 硬度测量与计量

1.2.1 硬度测量方法的选择

一般来讲,根据试验目的,比较各硬度测量方法的优缺点来选择。

1.2.1.1 试验的硬度范围

A. 按各种硬度试验范围的比较图来选择,维氏马氏(万能)压痕硬度除外,如图1-3所示。

B. 按布氏硬度试验力(负荷)系数($0.102F/D^2$)的情况和洛氏硬度各标尺的适用范围来选择。

对于同一材料,只有在使用同一规格的球压头和同一试验力或相同的试验力(负荷)系数的情况下,才能在不同的试验点上得到相同的硬度值,这时 $d/D = \sin\phi/2 = \text{常数}$ (式中 ϕ 为压入角),这即是布氏硬度的相似定律。

洛氏硬度标尺不同,应用范围不同。

C. 根据试样大小的限制来选择。

按各种硬度试验的压痕大小来选择,如表1-2所示。

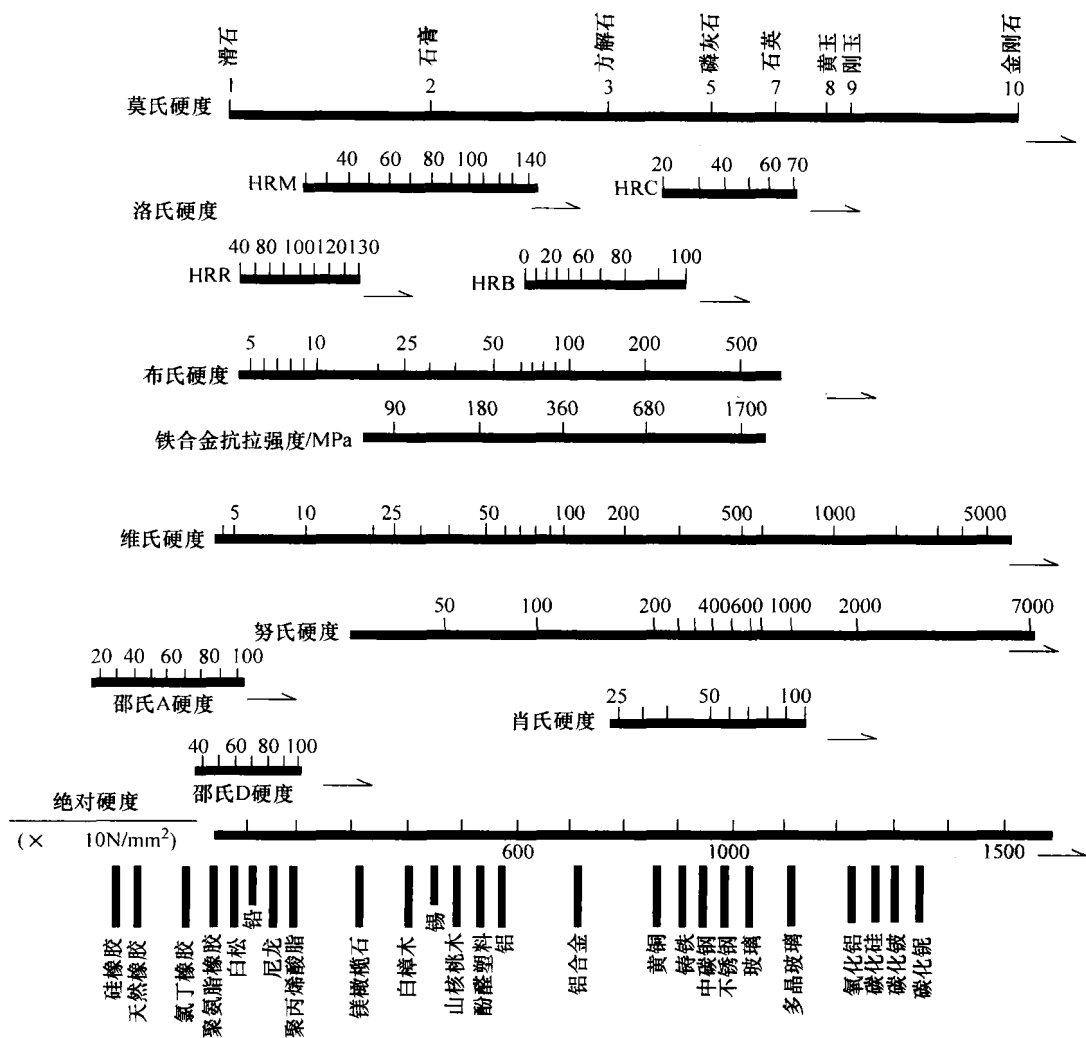


图 1-3 各种硬度试验范围的比较

表 1-2 各种硬度试验的压痕大小比较

硬度试验	压痕大小	
	压痕直径(mm)	压痕深度(mm)
布氏硬度	5.5~3	1~0.5
洛氏硬度(C标尺)	1~0.5	0.06~0.015
洛氏硬度(A标尺)	0.5~0.25	0.04~0.01
洛氏硬度(N标尺)	0.2~0.02	0.02~0.001
维氏硬度	0.7~0.05	0.1~0.01
显微维氏硬度	0.2~0.005	0.03~0.001
肖氏硬度	0.3~0.6	0.01~0.04