



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 4340.1—2024

代替 GB/T 4340.1—2009, 部分代替 GB/T 9790—2021

## 金属材料 维氏硬度试验 第 1 部分: 试验方法

Metallic materials—Vickers hardness test—  
Part 1: Test method

(ISO 6507-1:2023, MOD)

2024-05-28 发布

2024-12-01 实施

国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会

## 目 次

前言 .....	III
引言 .....	V
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 符号和说明 .....	2
5 原理 .....	2
6 硬度计 .....	3
7 试样 .....	4
8 试验程序 .....	4
9 结果的不确定度 .....	7
10 试验报告 .....	7
附录 A (规范性) 试样最小厚度与试验力和硬度的关系 .....	8
附录 B (规范性) 在曲面上进行试验时使用的修正系数表 .....	10
附录 C (规范性) 测定金属及其他无机覆盖层的维氏硬度 .....	14
附录 D (规范性) 使用者对硬度计、对角线长度测量系统和压头的期间核查 .....	18
附录 E (资料性) 柯勒照明系统的调整 .....	19
附录 F (资料性) 硬度值测量的不确定度 .....	20
附录 G (资料性) 维氏硬度测量的溯源性 .....	25
附录 H (资料性) CCM-硬度工作组 .....	28
参考文献 .....	29

## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 GB/T 4340《金属材料 维氏硬度试验》的第 1 部分。GB/T 4340 已经发布了以下部分：

- 第 1 部分：试验方法；
- 第 2 部分：硬度计的检验与校准；
- 第 3 部分：标准硬度块的标定；
- 第 4 部分：硬度值表。

本文件代替 GB/T 4340.1—2009《金属材料 维氏硬度试验 第 1 部分：试验方法》，部分代替 GB/T 9790—2021《金属材料 金属及其他无机覆盖层的维氏和努氏显微硬度试验》。本文件以 GB/T 4340.1—2009 为主，整合了 GB/T 9790—2021 的部分内容。与 GB/T 4340.1—2009 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 更改了范围，增加本文件也适用于硬质合金、其他烧结碳化物、金属及其他无机覆盖层，将维氏硬度试验力值的下限扩展到 0.009 807 N(见第 1 章，GB/T 4340.1—2009 的第 1 章)；
- 增加了针对不同的对角线长度测量范围相应压痕测量系统的分辨率要求(见表 3)；
- 增加了硬质合金的试样厚度应至少为 1 mm(见 7.3)；
- 增加了金属及其他无机覆盖层维氏硬度的测定(见 7.6)；
- 增加了典型试验力 HV0.001、HV0.002、HV0.003 和 HV0.005(见表 4)；
- 增加了期间核查(见 8.3)；
- 更改了施力时间和最大力下的保持时间的目标值(见 8.6，GB/T 4340.1—2009 的第 7 章)；
- 增加了相邻压痕的最小距离和任一压痕距离试样边缘的最小距离(见图 2)；
- 增加了曲率修正和硬度转换方法的要求(见第 10 章)；
- 增加了规范性附录“测定金属及其他无机覆盖层的维氏硬度”(见附录 C)；
- 更改了附录 D 为规范性附录，增加了对角线长度测量系统和压头的期间核查内容，增加了表 D.1 HV 最大允许偏差百分比以及压头检查(见附录 D，GB/T 4340.1—2009 的附录 C)。

本文件修改采用 ISO 6507—1:2023《金属材料 维氏硬度试验 第 1 部分：试验方法》。

本文件与 ISO 6507-1:2023 的技术差异及其原因如下：

- 用规范性引用的 GB/T 4340.2 替换了 ISO 6507-2:2018(见第 6 章、附录 D)，以适应我国的技术条件、增加可操作性；
- 增加了对 JJG 151 的规范性引用(见 6.1)，以适应我国的技术条件、增加可操作性；
- 用规范性引用的 GB/T 4340.3 替换了 ISO 6507-3(见附录 D)，以适应我国的技术条件、增加可操作性。

本文件做了下列编辑性改动：

- 用资料性引用的 GB/T 21838.1 替换了 ISO 14577-1(见第 1 章、8.9、附录 C)；
- 用资料性引用的 GB/T 21838.2 替换了 ISO 14577-2(见 8.9)；
- 用资料性引用的 GB/T 21838.3 替换了 ISO 14577-3(见 8.9)；
- 用资料性引用的 GB/T 4340.4 替换了 ISO 6507-4(见 8.10)；
- 增加了对 JJF 1059.1 的资料性引用(见第 9 章)；
- 用资料性引用的 GB/T 6462 替换了 ISO 1463(见附录 C)；



——用资料性引用的 GB/T 21838.4 替换了 ISO 14577-4(见附录 C)。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国钢铁工业协会提出。

本文件由全国钢标准化技术委员会(SAC/TC 183)归口。

本文件起草单位:钢铁研究总院有限公司、江阴兴澄特种钢铁有限公司、浙江金洲管道工业有限公司、浙江久立特材科技股份有限公司、上海尚材试验机有限公司、首钢集团有限公司、常州市联谊特种不锈钢管有限公司、浙江省特种设备科学研究院、青岛万汇遮阳用品有限公司、内蒙古君诚兴业管道有限责任公司、冶金工业信息标准研究院、重庆钢铁股份有限公司、国标(北京)检验认证有限公司、中国计量科学研究院。

本文件主要起草人:高怡斐、孟羽、钟雪泉、苏诚、侯晓东、卫志清、邱宇、陈丽敏、董莉、陈向俊、张军、郭凤勇、潘时松、张红菊、马亚鑫、侯慧宁、张明、史文华、张春芬、吴朝晖、许辉庭、陈玉枝、赵永锋、王晓宁。

本文件所代替文件的历次版本发布情况为:

——GB/T 4340—1984、GB/T 4340.1—1999、GB/T 4340.1—2009;

——GB/T 9790—1988、GB/T 9790—2021。





## 引 言

GB/T 4340《金属材料 维氏硬度试验》旨在规范金属材料维氏硬度试验方法、硬度计的检验与校准、标准硬度块的标定和硬度值等内容。

GB/T 4340 由 4 个部分构成：

- 第 1 部分：试验方法；
- 第 2 部分：硬度计的检验与校准；
- 第 3 部分：标准硬度块的标定；
- 第 4 部分：硬度值表。

本文件提供了维氏硬度的试验方法。

# 金属材料 维氏硬度试验

## 第1部分:试验方法

### 1 范围

本文件规定了金属维氏硬度试验的原理、硬度计、试样、试验程序、结果的不确定度及试验报告。本文件规定了按三个试验力范围测定金属材料维氏硬度的方法(见表1)。

表1 试验力范围

试验力范围/N	硬度符号	试验名称
$F \geq 49.03$	$\geq \text{HV}5$	维氏硬度试验
$1.961 \leq F < 49.03$	$\text{HV}0.2 \sim < \text{HV}5$	小力值维氏硬度试验
$0.009\ 807 \leq F < 1.961$	$\text{HV}0.001 \sim < \text{HV}0.2$	显微维氏硬度试验

本文件规定维氏硬度压痕对角线的长度范围为 0.020 mm~1.400 mm。对于压痕对角线长度小于这个范围的,利用本方法测定维氏硬度会由于光学测量系统的局限和压头几何形状的不完美导致较大的不确定度。

本文件还规定了使用者对硬度计作日常检查的周期性检查方法。

本文件适用于硬质合金、其他烧结碳化物,以及金属和其他无机覆盖层,包括铝基材上的电泳覆盖层、自催化涂层、喷涂涂层和阳极涂层。

本文件适用于垂直于覆盖层表面的压痕测量和横截面的测量,前提是覆盖层的特性(光滑度、厚度等)允许准确读取压痕的对角线。

本文件不适用于垂直于覆盖层表面进行测试时厚度小于 0.030 mm 的涂层和测试覆盖层横截面时厚度小于 0.100 mm 的涂层,GB/T 21838.1 能用于测定较小压痕的硬度。

特殊材料或产品的维氏硬度试验在相关标准中规定。

### 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 4340.2 金属材料 维氏硬度试验 第2部分:硬度计的校验与校准(GB/T 4340.2—2012,ISO 6507-2:2005,MOD)

GB/T 4340.3 金属材料 维氏硬度试验 第3部分:标准硬度块的标定(GB/T 4340.3—2012,ISO 6507-3:2005,MOD)

JJG 151 金属维氏硬度计检定规程

### 3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

#### 4 符号和说明

##### 4.1 本文件所使用的符号和说明

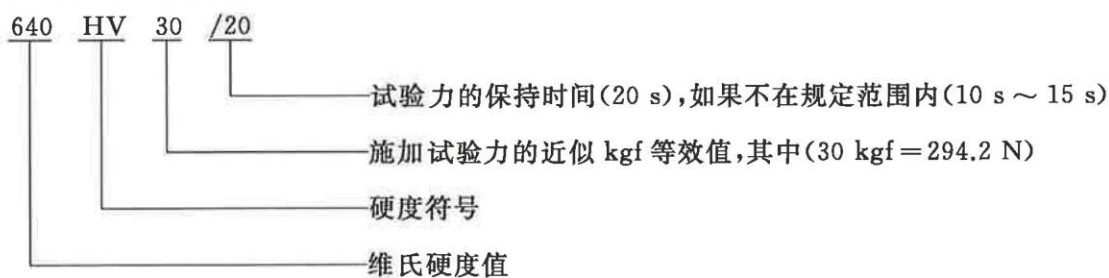
符号和说明见表 2。

表 2 符号和说明

符号	说明	单位
$d$	两压痕对角线长度 $d_1$ 和 $d_2$ 的算术平均值, 见图 1	mm
$F$	试验力	N
HV	$\text{维氏硬度} = \frac{\text{试验力 (kgf)}}{\text{压痕表面积 (mm}^2\text{)}}$ $= \frac{1}{g_n} \times \frac{\text{试验力 (N)}}{\text{压痕表面积 (mm}^2\text{)}}$ $= \frac{1}{g_n} \times \frac{F}{d^2 / \left(2 \sin \frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{1}{g_n} \times \frac{2 F \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2}$ <p>其中 <math>\alpha</math> 取公称 <math>136^\circ</math> 时,                      维氏硬度 <math>\approx 0.189 1 \times \frac{F}{d^2}</math></p>	
$\alpha$	金刚石压头顶部两相对面平均夹角(公称 $136^\circ$ ), 见图 1	( $^\circ$ )
为了减小不确定度, 维氏硬度计算可用压头的实际平均压头角度 $\alpha$		
注: 标准重力加速度 $g_n = 9.80665 \text{ m/s}^2$ , 为从 kgf 转换成 N 的转换因子。		

##### 4.2 维氏硬度值的表示

维氏硬度 HV 如下例所示。



#### 5 原理

将顶部两相对面具有规定角度的正四棱锥金刚石压头用一定的试验力压入试样表面, 保持一段时间后, 卸除试验力, 测量试样表面压痕对角线长度(见图 1)。



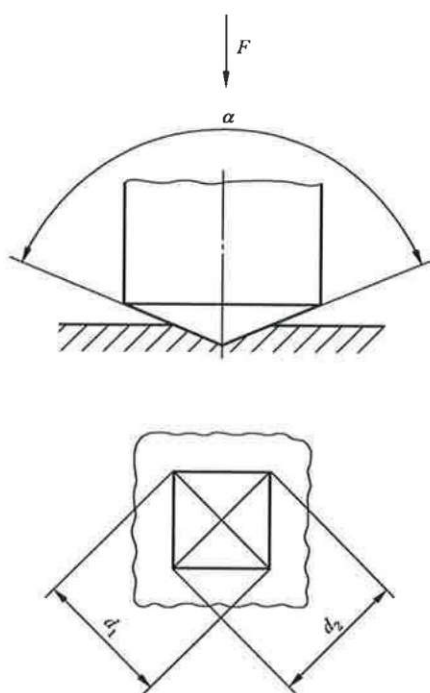


图1 试验原理(压头的几何形状和维氏压痕)

维氏硬度值是试验力除以压痕表面积所得的商,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。

注1:正四棱锥压头的顶点与基底的中心对齐。

注2:为便于应用,本文件已采纳国际计量委员会(CIPM)下的质量及相关量咨询委员会(CCM)框架下的硬度工作组(CCM-WGH)定义的硬度试验参数。

## 6 硬度计

### 6.1 一般要求

硬度计应符合 GB/T 4340.2 和 JJG 151 的规定,在要求的试验力范围内施加规定的试验力。

### 6.2 压头

压头应是具有方形基面的正四棱锥金刚石,并符合 GB/T 4340.2 规定。

### 6.3 对角线测量系统

对角线长度测量系统应符合 GB/T 4340.2 的相应要求。

压痕测量系统宜能够将对角线放大到视场的 25%~75%。很多物镜在视场边缘是非线性的。

如果采用相机的对角线测量系统在设计时已经考虑了光学测量系统视场的限制,则该系统测量时可使用相机视场的 100%。

对角线测量系统所需的分辨率取决于待测最小压痕的尺寸,并应满足表 3 的要求。在确定测量系统的分辨率时,应考虑显微光学系统的分辨率、测量标尺的数字分辨率以及适用时任何阶段移动的步长。

表 3 测量系统的分辨率

对角线长度 $d$ mm	测量系统的分辨率
$0.020 \leq d < 0.080$	0.000 4 mm
$0.080 \leq d \leq 1.400$	$d$ 的 0.5%

## 7 试样

### 7.1 待测表面

除非产品标准中另有规定,试样表面应平坦光滑,试验面上应无氧化皮及外来污物,尤其不应有油脂。试样表面的质量应保证压痕对角线长度的测量精度。对于硬质合金样品,试样表面层的去除厚度不应小于 0.2 mm。

### 7.2 试样制备

制备试样时应采取合适的表面加工方式,以避免过热或冷加工损伤表面或改变样品表面硬度。

由于显微维氏硬度压痕很浅,在制备试样时应采取特殊措施。推荐根据材料特性采用合适的机械抛光/电解抛光工艺制备试样。

### 7.3 试样厚度

试样或试验层厚度应至少为压痕对角线长度的 1.5 倍,依附录 A 所述。试验后试样背面不应出现可见变形。

硬质合金的试样厚度应至少为 1 mm。

注:压痕深度大约为对角线长度的  $1/7(0.143 d)$ 。

### 7.4 曲面上的试验

对于在曲面试样上试验的结果,应使用附录 B 的表 B.1~表 B.6 进行修正。

### 7.5 不稳试样的支承

对于小横截面或形状不规则的试样,宜使用类似金相的镶嵌专用支承台。支承材料宜充分支承试样,保证在加力过程中试样不发生移动。

### 7.6 金属及其他无机覆盖层

当测定金属及其他无机覆盖层的维氏硬度时,应按照附录 C 规定的附加步骤和要求进行。

## 8 试验程序

### 8.1 试验温度

试验通常在 10 °C~35 °C 范围的室温进行。如果不在此温度范围内试验,应在报告中说明。对于温度要求严格的试验,应在 23 °C±5 °C 进行。

## 8.2 试验力

典型的试验力如表 4 所示,也可选用其他包括大于 980.7 N,但不小于 0.009 807 N 的试验力开展试验。选择的试验力应使所产生压痕对角线的长度不小于 0.020 mm。

注:对于硬质合金,首选的试验力为 294.2 N(HV30)。

表 4 典型的试验力

维氏硬度试验 <sup>a</sup>		小力值维氏硬度试验		显微维氏硬度试验	
硬度符号	试验力/N	硬度符号	试验力/N	硬度符号	试验力/N
—	—	—	—	HV0.001	0.009 807
—	—	—	—	HV0.002	0.019 61
—	—	—	—	HV0.003	0.029 42
—	—	—	—	HV0.005	0.049 03
HV5	49.03	HV0.2	1.961	HV0.01	0.098 07
HV10	98.07	HV0.3	2.942	HV0.015	0.147 1
HV20	196.1	HV0.5	4.903	HV0.02	0.196 1
HV30	294.2	HV1	9.807	HV0.025	0.245 2
HV50	490.3	HV2	19.61	HV0.05	0.490 3
HV100 <sup>a</sup>	980.7	HV3	29.42	HV0.1	0.980 7

<sup>a</sup> 维氏硬度试验可使用大于 980.7 N 的标称试验力。

## 8.3 期间核查

附录 D 定义的期间核查应在每个试验力使用前的一周内进行,推荐在当天使用前进行。试验力发生变化时推荐进行期间核查。硬度计更换压头时应进行期间核查。

## 8.4 试样的支承和取向

试样应稳固地放置于刚性支承台上以保证试验中试样不发生位移。试样支承面应清洁且无其他污物(氧化皮、油脂、灰尘等)。

对于各向异性材料,例如某些经过深度冷加工的材料,压痕的对角线长度可能会不同。因此宜尽可能地使压痕的对角线取向与材料的冷加工方向大约保持 45° 的关系。产品规范可能会给出压痕两条对角线差异的极限。

## 8.5 检测面的聚焦

对角线长度测量系统应聚焦,保证试样表面和待测区域能够被观测到。

注:有些硬度计不要求显微镜聚焦在试样表面。

## 8.6 试验力的施加

压头应与试样表面接触,应施加垂直于试样表面的试验力,加力过程中不应有冲击和振动或过载,直至将试验力施加至规定值。从加力开始至全部试验力施加完毕的时间应为  $7 \pm \frac{1}{5}$  s。

注 1:要求的试验时间以非对称极限的形式给出。例如,  $7 \pm \frac{1}{5}$  s 表示 7 s 是名义保持时间,可接受的范围是不超过 8 s,不短于 2 s。

对于维氏硬度试验和小力值维氏硬度试验,压头接触试样的速率不应大于 0.2 mm/s。对于显微维



氏硬度试验,压头接触试样的速率不应大于 0.070 mm/s。

试验力保持时间应为  $14 \pm 1$  s,除非试验材料的硬度对保持时间敏感。当采用特殊保持时间时,应在硬度试验结果中标注(见 4.2)。

注 2: 有证据表明某些材料对应变速率敏感,应变速率不同会导致屈服强度的变化。相应的压痕的成形时间能引起硬度值的变化。

### 8.7 避免冲击和震动

在整个试验期间,硬度计应避免受到冲击和震动。

### 8.8 相邻压痕的最小间距

图 2 给出了相邻压痕的最小距离和任一压痕到试样边缘的最小距离。

任一压痕中心到试样边缘的距离,对于钢、铜和铜合金应至少为压痕对角线长度的 2.5 倍;对于轻金属、铅、锡及其合金应至少为压痕对角线长度的 3 倍。

两相邻压痕中心之间的距离,对于钢、铜和铜合金应至少为压痕对角线长度的 3 倍;对于轻金属、铅、锡及其合金应至少为压痕对角线长度的 6 倍。如果相邻压痕大小不同,应以较大压痕确定压痕间距。

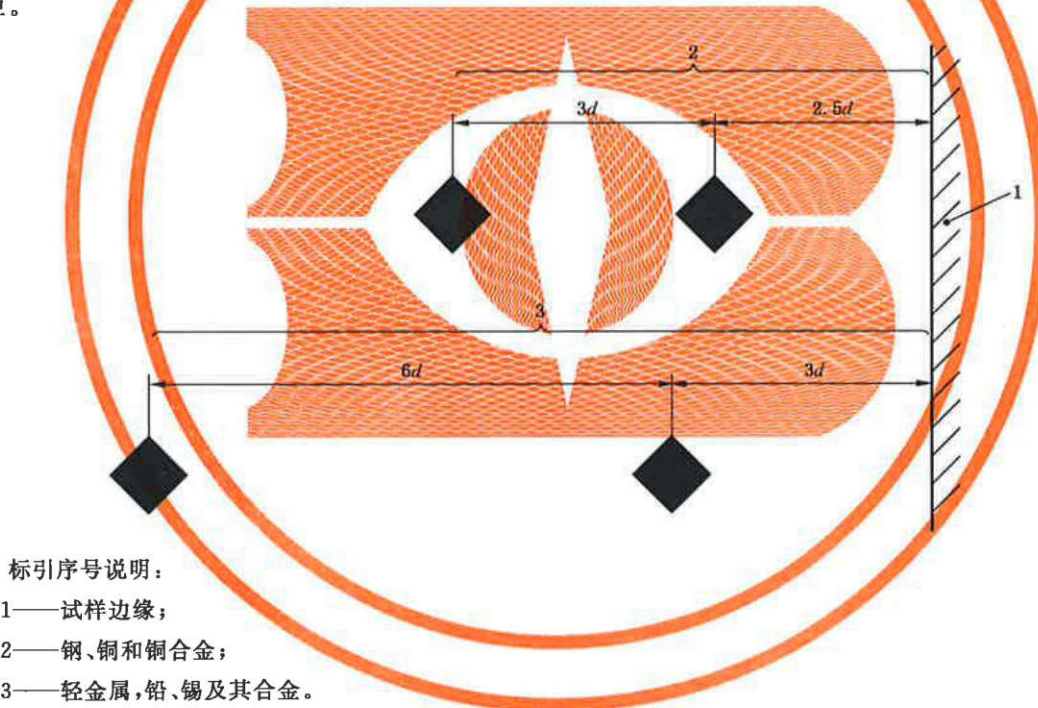


图 2 维氏压痕的最小间距

### 8.9 压痕对角线长度的测量

应测量压痕对角线的长度,用两个对角线长度的算术平均值计算维氏硬度。对于所有试验,显微镜应能清晰地观测到压痕的外缘。

宜选取合适的放大倍数将对角线放大到视场的 25%~75%,见 6.3。

注 1: 试验力的降低通常会增加测量结果的分散性。尤其对于小力值和显微维氏硬度试验,在测量压痕对角线长度时将受限。对于显微维氏硬度试验,光学显微镜平均对角线长度的测量精度一般不太可能优于  $\pm 0.001$  mm。

注 2: 附录 E 给出了柯勒照明系统用于调整光学测量系统的技术。

对于平面试样,压痕对角线的长度相差不宜超过 5%。如果压痕对角线的长度相差超过 5%,应在

报告中注明。

对于对角线长度不大于 0.02 mm 的压痕的硬度测量可参照 GB/T 21838.1、GB/T 21838.2 和 GB/T 21838.3。

### 8.10 维氏硬度值的计算

维氏硬度值按照表 2 给出的公式进行计算,也能用 GB/T 4340.4 给出的硬度换算表确定。对于曲面试样,应按附录 B 的修正系数进行修正。

## 9 结果的不确定度

完整的不确定度评估宜依据 JCGM 100:2008 测量不确定度表示指南(也可参考我国文件 JJF 1059.1)进行。对于硬度试验,通常有以下两种评定测量不确定度的方法,与不确定度来源的类型无关。

——基于在直接校准中对所有出现的相关不确定度分项的评估。

——基于用标准硬度块进行间接校准(简称 CRM,有证标准物质)。测定指南见附录 F。

以上方法通常不能够测定所有的不确定度分项。在这种情况下,可用 A 类标准不确定度对试样压痕的数据分析进行估计。A 类标准不确定度和 B 类标准不确定度合成时,宜注意不确定度分项不能重复计入(见 JCGM 100:2008 中第 4 章)。

## 10 试验报告

除非相关方另有约定,试验报告应至少包括以下内容:

- a) 本文件编号;
- b) 识别试样所需的全部信息;
- c) 试验日期;
- d) 按照 4.2 格式给出的试验结果,用 HV 表示;
- e) 如果需要曲率修正的,试样表面的曲率;
- f) 不在本文件规定之内的各种操作;
- g) 影响试验结果的各种细节;
- h) 试验温度不在 8.1 规定范围时,注明试验温度;
- i) 与另一种硬度标尺换算时,换算的基础和方法。

尚无普遍通用的方法将维氏硬度精确地换算成其他硬度或抗拉强度。因此宜避免这种换算,除非通过对比试验建立了可靠的换算基础(见 GB/T 33362)。

注:仅在试验力相同的情况下,才有可能对硬度值作精确比较。

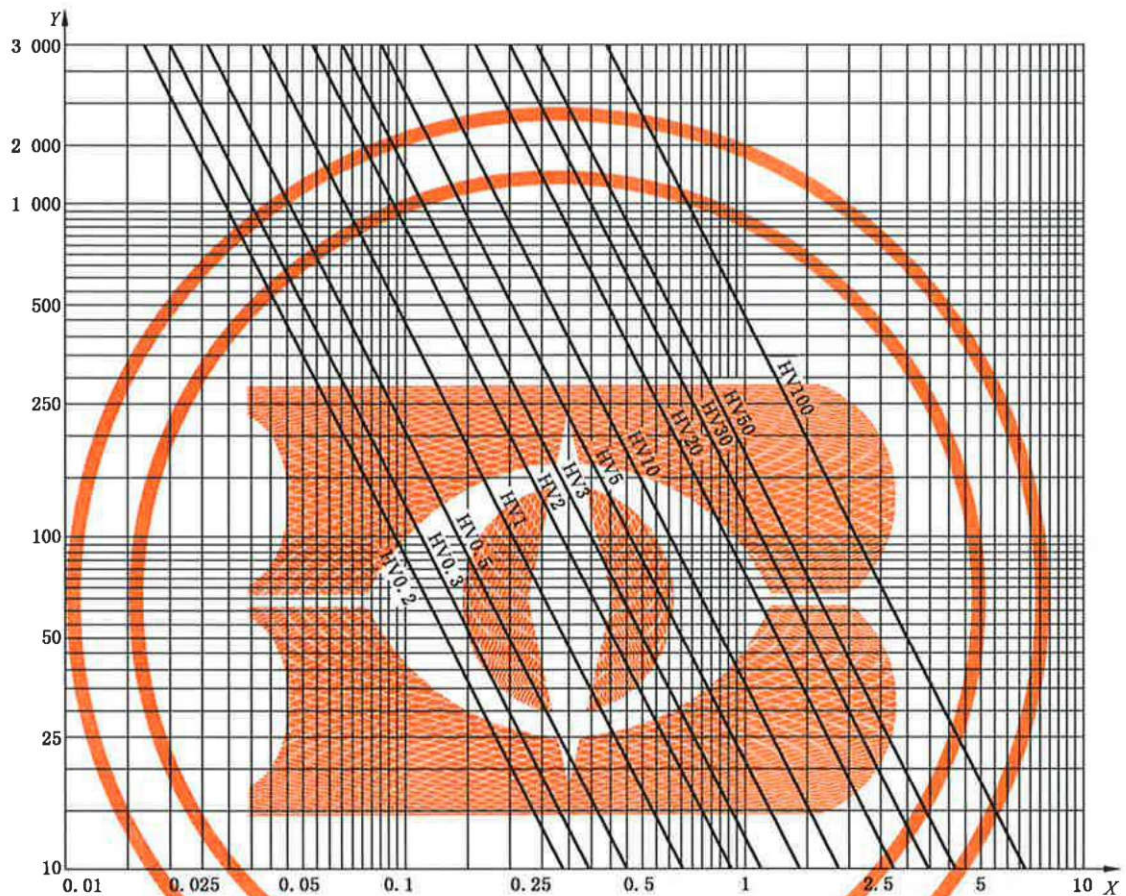


附录 A

(规范性)

试样最小厚度与试验力和硬度的关系

试样最小厚度与试验力和硬度的关系如图 A.1 所示。



标引符号说明：

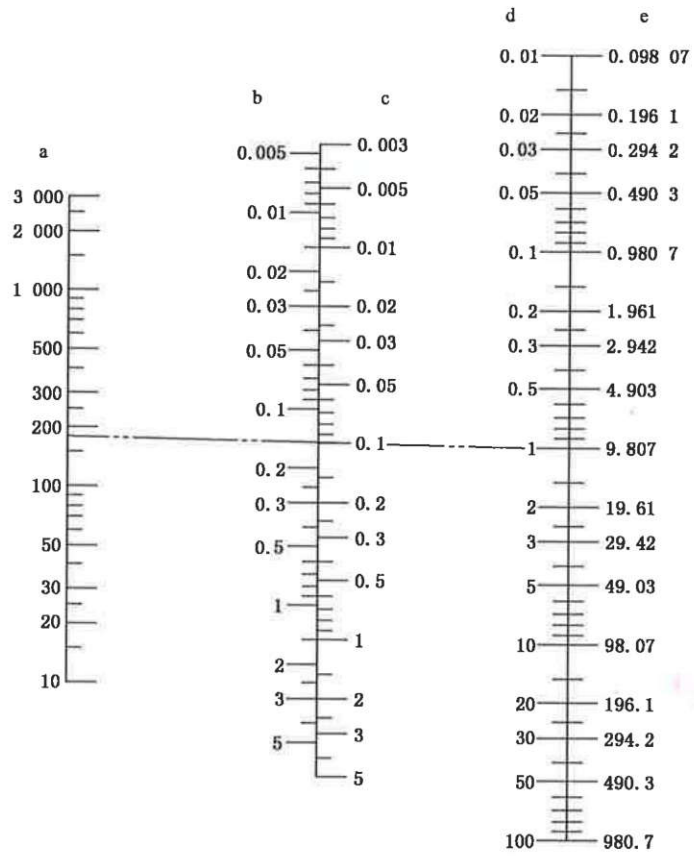
X——试样厚度,单位为毫米(mm)；

Y——硬度值,用 HV 表示。

图 A.1 试样最小厚度与试验力和硬度的关系(HV0.2~HV100)

图 A.2 所示的列线图用于确定试样最小厚度,本图按试样最小厚度为压痕对角线长度的 1.5 倍设计。将试验力(右侧标尺)和硬度值(左侧标尺)做一连接线,此连接线(如图 A.2 示例中的虚线所示)与中间标尺的交点所示的值为该条件下的试样最小厚度。





- 硬度值,用 HV 表示。
- ᵇ 最小厚度  $t$ ,单位为毫米(mm)。
- ᶜ 对角线长度  $d$ ,单位为毫米(mm)。
- ᵈ 硬度符号,HV。
- ᵉ 试验力  $F$ ,单位为牛顿(N)。

图 A.2 试样最小厚度图(HV0.01~HV100)

## 附录 B

(规范性)

## 在曲面上进行试验时使用的修正系数表

## B.1 球面

表 B.1 和表 B.2 给出了在球面上进行试验时的修正系数。

修正系数根据压痕对角线长度的算术平均值( $d$ )与球直径( $D$ )的比率列表。

示例：

凸球面  $D=10\text{ mm}$   
 试验力  $F=98.07\text{ N}$   
 压痕对角线长度的算术平均值  $d=0.150\text{ mm}$

$$\frac{d}{D} = \frac{0.150}{10} = 0.015$$

$$\text{维氏硬度 HV} = 0.1891 \times \frac{98.07}{(0.15)^2} = 824\text{ HV10}$$

用表 B.1 通过内插法求得修正系数=0.983

球体硬度 =  $824 \times 0.983 = 810\text{ HV10}$

表 B.1 凸球面

$d/D$	修正系数	$d/D$	修正系数
0.004	0.995	0.086	0.920
0.009	0.990	0.093	0.915
0.013	0.985	0.100	0.910
0.018	0.980	0.107	0.905
0.023	0.975	0.114	0.900
0.028	0.970	0.122	0.895
0.033	0.965	0.130	0.890
0.038	0.960	0.139	0.885
0.043	0.955	0.147	0.880
0.049	0.950	0.156	0.875
0.055	0.945	0.165	0.870
0.061	0.940	0.175	0.865
0.067	0.935	0.185	0.860
0.073	0.930	0.195	0.855
0.079	0.925	0.206	0.850

表 B.2 凹球面

$d/D$	修正系数	$d/D$	修正系数
0.004	1.005	0.057	1.080
0.008	1.010	0.060	1.085
0.012	1.015	0.063	1.090
0.016	1.020	0.066	1.095
0.020	1.025	0.069	1.100
0.024	1.030	0.071	1.105
0.028	1.035	0.074	1.110
0.031	1.040	0.077	1.115
0.035	1.045	0.079	1.120
0.038	1.050	0.082	1.125
0.041	1.055	0.084	1.130
0.045	1.060	0.087	1.135
0.048	1.065	0.089	1.140
0.051	1.070	0.091	1.145
0.054	1.075	0.094	1.150

## B.2 圆柱面

表 B.3~表 B.6 给出了在圆柱表面上进行试验时的修正系数。

修正系数根据压痕对角线长度的算术平均值( $d$ )与圆柱直径( $D$ )的比率列表。

示例:

凹面圆柱,压痕-对角线平行于轴线

$$D=5 \text{ mm}$$

试验力

$$F=294.2 \text{ N}$$

压痕对角线平均值

$$d=0.415 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{D} = \frac{0.415}{5} = 0.083$$

$$\text{维氏硬度 HV} = 0.1891 \times \frac{294.2}{(0.415)^2} = 323 \text{ HV}_{30}$$

查表 B.6 得修正系数为 1.075

$$\text{柱面硬度} = 323 \times 1.075 = 347 \text{ HV}_{30}$$

表 B.3 凸圆柱面(对角线与圆柱轴线呈 45°)

$d/D$	修正系数	$d/D$	修正系数
0.009	0.995	0.053	0.970
0.017	0.990	0.062	0.965
0.026	0.985	0.071	0.960
0.035	0.980	0.081	0.955
0.044	0.975	0.090	0.950

表 B.3 凸圆柱面(对角线与圆柱轴线呈 45°) (续)

$d/D$	修正系数	$d/D$	修正系数
0.100	0.945	0.159	0.915
0.109	0.940	0.169	0.910
0.119	0.935	0.179	0.905
0.129	0.930	0.189	0.900
0.139	0.925	0.200	0.895
0.149	0.920		

表 B.4 凹圆柱面(对角线与圆柱轴线呈 45°)

$d/D$	修正系数	$d/D$	修正系数
0.009	1.005	0.127	1.080
0.017	1.010	0.134	1.085
0.025	1.015	0.141	1.090
0.034	1.020	0.148	1.095
0.042	1.025	0.155	1.100
0.050	1.030	0.162	1.105
0.058	1.035	0.169	1.110
0.066	1.040	0.176	1.115
0.074	1.045	0.183	1.120
0.082	1.050	0.189	1.125
0.089	1.055	0.196	1.130
0.097	1.060	0.203	1.135
0.104	1.065	0.209	1.140
0.112	1.070	0.216	1.145
0.119	1.075	0.222	1.150

表 B.5 凸圆柱面(对角线平行于圆柱轴线)

$d/D$	修正系数	$d/D$	修正系数
0.009	0.995	0.085	0.965
0.019	0.990	0.104	0.960
0.029	0.985	0.126	0.955
0.041	0.980	0.153	0.950
0.054	0.975	0.189	0.945
0.068	0.970	0.243	0.940



表 B.6 凹圆柱面(对角线平行于圆柱轴线)

$d/D$	修正系数	$d/D$	修正系数
0.008	1.005	0.087	1.080
0.016	1.010	0.090	1.085
0.023	1.105	0.093	1.090
0.030	1.020	0.097	1.095
0.036	1.025	0.100	1.100
0.042	1.030	0.103	1.105
0.048	1.035	0.105	1.110
0.053	1.040	0.108	1.115
0.058	1.045	0.111	1.120
0.063	1.050	0.113	1.125
0.067	1.055	0.116	1.130
0.071	1.060	0.118	1.135
0.076	1.065	0.120	1.140
0.079	1.070	0.123	1.145
0.083	1.075	0.125	1.150

## 附录 C

## (规范性)

## 测定金属及其他无机覆盖层的维氏硬度

## C.1 总则

本附录规定了应用本文件测定金属及其他无机覆盖层维氏硬度时的附加程序和要求。通常,对于覆盖层的硬度测量,需要小压痕(因此需要维氏显微硬度范围内的测试力)。然而,由于宜选择尽可能大的压痕尺寸,因此也可以使用小力值维氏硬度测试范围和维氏硬度测试区域的测试力。根据 GB/T 21838.1 和 GB/T 21838.4,能对需要较小压痕尺寸的覆盖层进行硬度测量。

## C.2 试样

## C.2.1 表面粗糙度

如果试样表面粗糙,则可能无法准确地测量出压痕对角线的长度,常使用 HV0.5 或更低的显微硬度用于覆盖层横截面。试样可进行化学、电解或机械抛光。采用的抛光应尽可能减小可能改变测量硬度的局部加热或加工硬化。

由于喷涂金属涂层的表面粗糙度,此类涂层的显微压痕测量通常应在横截面上进行。如果试样表面经过研磨和抛光,宜在试样表面上测定,试样表面粗糙度应在报告中说明(见 C.4)。由于易于加工硬化的涂层总是会在一定程度上受到金相试样制备技术的影响,因此应注意将这种影响降至最低。

建议表面粗糙度  $R_a$  小于  $0.3\ \mu\text{m}$ 。 $R_a$  值宜尽可能为最大压痕穿透深度的 5%。如果  $R_a$  值大于或等于最大压痕穿透深度的 5%,则应在试验报告中说明  $R_a$  值(见 C.4)。

## C.2.2 覆盖层厚度的测量

在进行硬度试验之前,应使用适当的方法测量覆盖层的厚度,例如 GB/T 6462 中描述的显微镜法。覆盖层厚度应在试验报告中报告(见 C.4)。

## C.2.3 横截面测量用试样

当测试覆盖层的横截面时,符合以下条件的压痕测量点处的覆盖层厚度应足够大,在表面正确对齐(见 C.3.2),其中一条对角线与覆盖层-基体界面成直角(见 C.3.4)。试样的覆盖层厚度不应小于  $0.100\ \text{mm}$ 。

横截面试样应使用适当的方法进行安装、抛光和腐蚀,例如 GB/T 6462 中描述的显微镜方法。确保加工硬化最小(见 C.2.1)。如可能,避免测试腐蚀表面。

## C.2.4 替代试样

替代试样是专门为代替真实试样而准备的等效试样。如果生产零件的几何形状不适合进行硬度测试,则可使用替代试样。当适当的文件规定时,也可使用替代试样。只有替代试样是使用相近的生产工艺或与其接近的等效材料制备的,这种替代才是有效的。对于电镀零件,替代试样可有效地用于控制电镀槽液,特别是镀层硬度对槽液成分和其他电镀参数很敏感的镀层,如金镀层的槽液控制。

替代试样的电镀条件,如电流密度、温度、搅拌和溶液成分,宜尽可能与实际产品的条件接近。

### C.3 程序

#### C.3.1 试验温度

试验应在  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  的温度下进行,任何超出此范围的试验温度应在报告中注明(见 C.4)。

#### C.3.2 测试表面的对正

如果测试表面与压头轴线不垂直,测量将无效。当垂直度误差小于  $0.5^{\circ}$  时,将获得准确的结果。如果材料是各向同性的,而在同一对角线的两个侧边明显不等时,则表明试验面可能不垂直于压头的轴线。

#### C.3.3 压痕位置

硬度测量可能会受到覆盖层以外材料的接近程度的影响,例如,如果压痕靠近基材,且基材比涂层软,则获得的硬度测量值可能太低。如果材料含有沉淀物或夹杂物,则压痕可能会在微观结构中这些不均匀性附近变形。这种类型的错误可以通过压痕没有其正常形状来表示。

对于具有梯度结构的覆盖层,硬度值可沿覆盖层厚度变化。在这种情况下,压痕的位置宜由相关方商定。

#### C.3.4 测量涂层横截面时的压痕方向和间距

当测试覆盖层的横截面时,压痕的方向应确保其中一条对角线与覆盖层-基体界面约成  $90^{\circ}$ 。对于钢、铜和铜合金,压痕中心和覆盖层/基体界面的距离应至少为压痕平均对角线长度的 2.5 倍,对于轻金属、铅和锡及其合金,应至少为压痕平均对角线长度的 3 倍。测试叠层材料时,为了确定压痕间距,应将黏结面视为界面。

#### C.3.5 预防振动

对于低作用力下的小压痕,排除振动尤为重要。无论施加什么力,振动都是一个严重的误差,但小力的影响要明显得多。通常,如果有振动存在,一般获得的硬度值偏低。使用与试验表面硬度相近的标准硬度块进行对比测定(见 GB/T 4340.3),能够测定出这种误差源。通过将仪器与环境适当隔离,例如将其安装在适当的隔离台上,能够减少振动的影响。

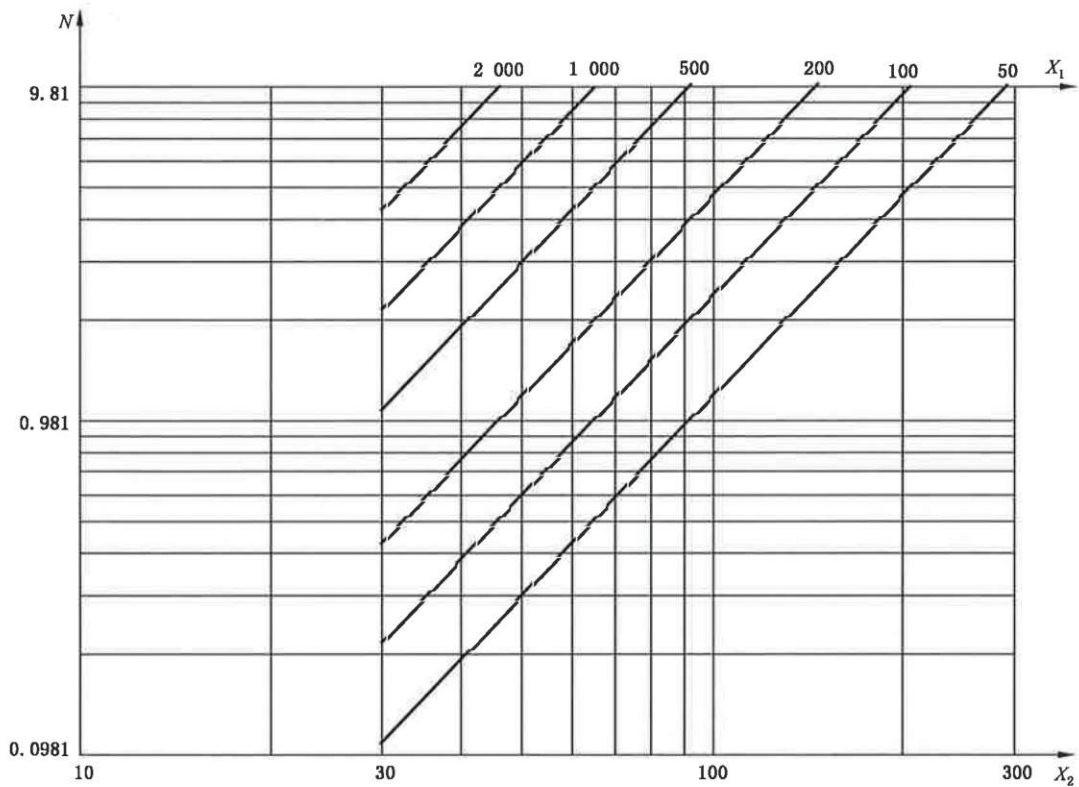
不受隔离台控制的噪声也能导致硬度测量产生误差,并导致较低的硬度值。振动源可能有:风扇、空调或公路噪声。

#### C.3.6 试验力的选择

为了获得覆盖层最准确的显微压痕值,应使用与覆盖层厚度相匹配的最大力(见图 C.1 和 C.2.3)。仅当使用相同的试验力时,才可能获得可比结果。

当测试垂直于涂层表面时,应选择施加的力,使涂层厚度不小于压痕对角线尺寸的 1.5 倍(见图 C.1)。





标引符号说明：

$X_1$ ——硬度值,用 HV 表示；

$X_2$ ——最小覆盖层厚度,单位为微米( $\mu\text{m}$ )；

$N$ ——试验力,单位为牛(N)。

图 C.1 最小覆盖层厚度、试验力及硬度值之间的关系

### C.3.7 测量比较

获得的显微压痕值取决于施加的力,其程度大于施加大于 9.807 N 的力的硬度测量值。为了确保在比较覆盖层两个不同区域的硬度时,或在比较试验区域和参考区域的硬度时,获得可比的硬度值,应使用初始或参考试验中使用的相同标称力和施加试验力的保持时间进行比较试验。由于多种因素,包括各向异性,应标记试样,以表明在何处进行了试验和参考测量,并应在试验报告中记录位置(见 C.4)。

### C.3.8 硬度值的计算

硬度值  $\bar{H}$  应通过在有效表面上规定的参考区域内为每个试样取至少 5 个压痕,然后计算该组测量的平均硬度值来获得。 $H_1, H_2, \dots, H_n$ , 即为计算硬度值而测量的  $n$  (至少 5) 个硬度值,按数量级递增排列。根据公式(C.1)计算硬度值  $\bar{H}$ 。

$$\bar{H} = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_n}{n} \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

根据公式(C.2)计算硬度测量的变异系数  $C_V$  (%)

$$C_V = \frac{100 \times s}{\bar{H}} \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

式中：

$s$ ——根据公式(C.3)计算硬度值  $\bar{H}$  时测量的  $n$  个硬度值的标准偏差。

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{H} - H_i)^2} \dots\dots\dots (C.3)$$

变异系数通常小于 5%，但如果获得更大的值，则应在试验报告中报告(见 C.4)。范围定义为最大和最小读数之间的差值，可在试验报告中规定。

### C.3.9 脆性材料

在加载过程中试样如果产生裂纹，则无法获得有效的硬度值。可通过降低接近速率或减小试验力的办法来解决，但较低的试验力能导致较高的不确定度。

### C.4 试验报告

除了第 10 章报告的要求外，试验报告还应包括以下内容：

- 测量位置(如截面或垂直于表面)和参考区域；
- 表面粗糙度，如果与 C.2.1 的规定不同；
- 试验温度，如果与 C.3.1 的规定不同；
- 变异系数；
- 覆盖层厚度。



## 附录 D

(规范性)

## 使用者对硬度计、对角线长度测量系统和压头的期间核查

## D.1 期间核查

用于期间核查的压头应与试验所用压头相同。试验时应选择在合适的标尺下按照 GB/T 4340.3 校准并与所使用硬度水平相近的标准硬度块。

在进行期间核查之前,应在标准硬度块上选择一个参考压痕,对压痕对角线测量系统进行间接校准。测量的压痕对角线长度应与压痕的参考值一致,两者之间的差值不应大于 0.001 mm 或对角线长度的 1.25%。如果对角线长度测量系统的间接校准值没有满足上述要求,可测量第二个参考压痕。如果该次测量失败,压痕对角线测量系统应进行调整或维修,并按照 GB/T 4340.2 进行直接和间接校准。

在标定过的标准硬度块上应至少对两个压痕进行测量。标准硬度块上的压痕应均匀分布。如果测量的两个压痕的最大正、负偏差都没有超过表 D.1 给出的极限值  $b_{rel}$ ,就认为硬度计是合格的。

偏差百分比  $b_{rel}$ ,按照公式(D.1)进行计算:

$$b_{rel} = 100 \times \frac{H - H_{CRM}}{H_{CRM}} \quad \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

$H$  —— 硬度测量值;

$H_{CRM}$  —— 有证标准硬度块的标准值。

如果不满足表 D.1,验证压头和试验机是否处于良好的工作状态,并重复上述期间核查。如果期间核查继续失败,应按照 GB/T 4340.2 进行间接校准。期间核查的记录宜保持一段时间,用于测量再现性和监测硬度计的波动。

表 D.1 HV 最大允许偏差百分比

对角线平均长度 $\bar{d}$ mm	硬度计 HV 最大允许偏差百分比 $b_{rel}$ %
$0.02 \leq \bar{d} < 0.14$	$\pm (0.21/\bar{d} + 1.5)$
$0.14 \leq \bar{d} \leq 1.400$	$\pm 3$

注:本文件中规定的硬度计性能标准已在相当长的一段时间内制定和完善。在确定硬度计需要满足的特定公差时,与测量设备和/或参考标准的使用相关的不确定度已包含在该公差中,因此,通过测量不确定度降低公差等方式对该不确定度进行任何进一步的容差是不合适的。这适用于对机器进行定期检验时进行的所有测量。

## D.2 压头检查

经验表明,许多最初令人满意的压头在使用相对较短的时间后可能会出现缺陷。这是由表面上的小裂纹、凹坑或其他缺陷造成的。如果及时检测到此类问题,可通过重新研磨修复压头。否则,表面上的任何小缺陷都会迅速恶化,使压头无法使用。因此,

——每天使用硬度计时,宜通过目视检查标准硬度块上压痕的形状来监测压头的状况;

——当压头显示缺陷时,压头的核查不再有效;

——重新研磨或以其他方式修复的压头应满足 GB/T 4340.2 的所有要求。



附 录 E  
(资料性)  
柯勒照明系统的调整

### E.1 总则

虽然有些光学系统是永久对准的,但有些光学系统有微调的方法。为了获得最大的分辨率,以下调整可能会有所帮助。

### E.2 柯勒照明系统

柯勒照明系统的调整按如下步骤进行:

- 将平面抛光试样的表面聚焦至临界锐度;
- 将光源置于中心;
- 将磁场和光圈模片居中对齐;
- 打开场光阑,使其从视场中消失;
- 取下目镜,检查物镜的后焦平面,如果所有组件都在正确的位置,照明源和光圈将出现在清晰的焦点中;
- 为了获得最大分辨率,最好使用全孔径光圈。如果眩光过大,减小光圈;但千万不要使用少于 $3/4$ 的开口,因为分辨率会降低,衍射现象可能会导致错误的测量。如果光线太强,眼睛不舒服,可以使用合适的中性密度过滤器或变阻器控制来降低强度。

**附录 F**  
**(资料性)**  
**硬度值测量的不确定度**

**F.1 一般要求**

测量不确定度分析是一个有用的工具,有助于确定误差来源,并了解测试结果的差异。本附录给出了不确定度估计指南,但所含方法仅供参考,除非客户另有明确指示。

大多数产品规格都有公差,这些公差在过去几年中主要基于产品的要求,但也部分基于用于进行硬度测量的机器的性能。因此,这些公差包含了硬度测量不确定度带来的影响,因此通过(例如)用硬度测量的估计不确定度减少规定公差来进一步考虑这种不确定度是不合适的。换句话说,如果产品规范规定某个项目的硬度应高于或低于某个特定值,则宜解释为仅规定计算的硬度值应满足该要求,除非产品标准中另有明确规定。然而,在某些特殊情况下,通过测量不确定度降低公差是合适的。这只能在相关各方同意的情况下进行。

本附录中给出的确定不确定度的方法仅考虑与硬度试验机相对于标准硬度块的整体测量性能相关的不确定度。这些性能不确定性反映了所有单独不确定性的综合影响(间接验证)。由于这种方法,重要的是单个机器部件在公差范围内运行。强烈建议在成功通过直接验证后,该程序最多应用一年。

附录 G 给出了定义和传播硬度标尺所需的计量链的四级结构。该链从国际层面开始,使用各种硬度等级的国际定义进行国际比对。许多国家级的初级硬度标准机“产生”校准实验室级的初级标准硬度块。当然,这些机器的直接校准和验证宜尽可能达到最高精度。

**F.2 一般程序**

该程序通过平方根和法(RSS)计算表 F.1 中给出的不同来源的合成不确定度。扩展不确定度( $U$ ),由  $u_H$  乘以覆盖系数  $k=2$  得出。表 F.1 包含所有符号及其名称。

硬度试验机(也称为“误差”)的偏差( $b$ ),其来源于:

- 所用标准硬度块的认证校准值;
- 在硬度试验机校准期间(见 GB/T 4340.2),该试块中 5 个压痕的平均硬度值能通过不同方式用于不确定度的测定。

以下给出了两种确定硬度测量不确定度的方法。

- 方法 M1 以两种不同的方式解释硬度计的系统偏差。在一种方法中,系统偏差的不确定性贡献通过算术方法加到该值上。在另一种方法中,对测量结果进行校正,以补偿系统偏差。
- 方法 M2 允许确定不确定性,而不必考虑系统偏差的大小。

有关计算硬度不确定度的其他信息,请参见参考文献[10]和[11]。

注 1: 这种不确定度方法不考虑机器性能在最后一次校准后可能出现的任何漂移,因为它假设任何此类变化的幅度都是微不足道的。因此,大多数分析可在机器校准后立即进行,并将结果包含在机器校准证书中。

注 2: 在本附录中,“CRM”代表“有证标准物质”。在硬度测试标准中,有证标准物质相当于标准硬度块,即具有认证值和相关不确定度的材料。

**F.3 计算不确定度的程序:硬度测量值****F.3.1 有偏差的程序(方法 M1)**

表 F.1 解释了测量不确定度的方法 M1 程序。硬度试验机的测量偏差( $b$ )可能预期是一种系统效应。在 JCGM 100:2008<sup>[10]</sup> 中,建议通过校正来补偿系统效应,这是 M1 的基础。使用该方法的结果



是,所有测定的硬度值( $x$ )必须减去  $b$ ,或不确定度( $U$ )必须增加  $b$ 。表 F.1 中解释了测定  $U_{M1}$  的程序。

根据公式(F.1)计算单个硬度测量值( $x$ )的合成扩展测量不确定度:

$$U_{M1} = k \times \sqrt{u_H^2 + 2 \times u_{ms}^2 + u_{HTM}^2} \quad \dots\dots\dots (F.1)$$

式中:

- $u_H$  —— 由于硬度试验机缺乏测量重复性而导致的测量不确定度;
- $u_{ms}$  —— 硬度试验机分辨率对测量不确定度的贡献,宜考虑长度测量指示仪器的分辨率和测量显微镜的光学分辨率,在大多数情况下,测量系统的整体分辨率宜在  $u_H$  的计算中包含两次,因为对角线两端的位置是独立的;
- $u_{HTM}$  —— 由硬度试验机产生的偏差测量的标准不确定度( $b$ )对测量不确定度的贡献(该值作为 GB/T 4340.2 中定义的间接验证的结果报告),并根据公式(F.2)定义:

$$u_{HTM} = \sqrt{u_{CRM}^2 + u_{HCRM}^2 + 2 \times u_{ms}^2} \quad \dots\dots\dots (F.2)$$

式中:

- $u_{CRM}$  —— 根据  $k = 1$  的校准证书,CRM 认证值的校准不确定度对测量不确定度的贡献;
- $u_{HCRM}$  —— 由于硬度试验机缺乏测量重复性和 CRM 的硬度不均匀性而对测量不确定度的贡献,计算为测量 CRM 时硬度测量平均值的标准偏差;
- $u_{ms}$  —— 测量 CRM 时硬度试验机的分辨率对测量不确定度的贡献。

测量结果可通过两种方式报告:

——作为  $X_{corr}$ ,其中测量值( $x$ )根据公式(F.3)计算的测量偏差( $b$ )进行校正:

$$X_{corr} = (x - b) \pm U_{M1} \quad \dots\dots\dots (F.3)$$

——或作为  $X_{ucorr}$ ,其中测量值( $x$ )未针对测量偏差( $b$ )进行校正,扩展不确定度( $U$ )根据公式(F.4)增加偏差的绝对值:

$$X_{ucorr} = x \pm [U_{M1} + |b|] \quad \dots\dots\dots (F.4)$$

当使用方法 M1 时,也能适当地在与所用  $b$  值相关的 RSS 项中包括额外的不确定度贡献。尤其是当:

- 测得的硬度与机器校准期间使用的试块的硬度水平显著不同,
- 机器的偏差值在其校准范围内变化很大,
- 被测材料与机器校准期间使用的标准硬度块材料不同,
- 硬度试验机的日常性能(再现性)差异很大。

此处不讨论对测量不确定度的这些额外贡献的计算。在所有情况下,都需要一种稳健的方法来估计与  $b$  相关的不确定性。

### F.3.2 无偏差的程序(方法 M2)

作为方法 M1 的替代方法,方法 M2 能在某些情况下使用。方法 M2 仅适用于根据 GB/T 4340.2 通过间接验证的硬度试验机,在确定是否符合偏差的最大允许偏差时,使用该值  $|b| + U_{HTM}$ ,而不仅仅是偏差值( $b$ )(见 GB/T 4340.2)。在方法 M2 中,最大允许偏差( $b_E$ )(允许机器读数与标准硬度块值不同的正值),如 ISO 6507-2:2018 中表 5 所述,用于定义不确定度的一个分量  $u_E$ 。硬度值与偏差限值无关。表 F.1 解释了测定  $U$  的程序。

根据公式(F.5)计算未来单个硬度测量的组合扩展测量不确定度:

$$U_{M2} = k \times \sqrt{u_H^2 + 2 \times u_{ms}^2 + u_E^2} \quad \dots\dots\dots (F.5)$$

式中:

- $u_H$  —— 由于硬度试验机缺乏测量重复性而导致的测量不确定度;
- $u_{ms}$  —— 硬度试验机分辨率对测量不确定度的贡献,宜考虑长度测量指示仪器的分辨率和测量显

显微镜的光学分辨率,在大多数情况下,测量系统的整体分辨率宜在  $u_H$  的计算中包含两次,因为对角线两端的位置是独立的;

$u_E$  ——由于最大允许误差对测量不确定度的贡献,  $u_E = b_E / \sqrt{3}$  (矩形分布),其中  $b_E$  为 GB/T 4340.2 中规定的最大允许偏差,根据公式(F.6)计算测量值:

$$X = x \pm U_{M2} \dots\dots\dots (F.6)$$

**F.4 测量结果的表达**

示例:

硬度试验机对试样进行单一维氏硬度测量。

单一硬度测量值( $x$ ):  $x = 410 \text{ HV30}$

对角线长度( $d$ ):  $d = 0.3684 \text{ mm}$

长度对角线测量系统的分辨率根据公式(F.7)计算:

$$\delta_{ms} = \sqrt{\delta_{OR}^2 + \delta_{IR}^2} \dots\dots\dots (F.7)$$

$\delta_{ms} = 0.00051 \text{ mm}$

式中:

$\delta_{OR}$  ——显微镜物镜的光学分辨率(0.0005 mm);

$\delta_{IR}$  ——测量系统显示指示器的分辨率(0.0001 mm)。

试验机的最后一次间接验证使用  $\overline{H}_{CRM} = 401.6 \text{ HV30}$  的 CRM,报告的不确定度  $U_{CRM}$  为 5.0 HV30 确定了测量偏差  $b$ 。该 CRM 的硬度与用于间接验证的 CRM 的试样硬度最接近。

硬度试验机的测量偏差( $b$ ):  $b = 1.62 \text{ HV30}$

硬度试验机测量偏差的不确定度( $U_{HTM}$ ):  $U_{HTM} = 5.14 \text{ HV30}$

为了确定硬度试验机缺乏可重复性,实验室在与试样硬度相似的 CRM 上进行了 5 次 HV30 的测量( $H_i$ )。为了减少块体不均匀性的影响,5 次测量按照间距要求相邻进行。

5 次测量值( $H_i$ ): 405.5 HV30; 399.0 HV30; 400.9 HV30; 403.4 HV30; 397.5 HV30

测量平均值( $\overline{H}$ ):  $\overline{H} = 401.3 \text{ HV30}$

测量值的标准偏差( $S_H$ ):  $S_H = 3.2 \text{ HV30}$

根据 GB/T 4340.2,可使用基于上次间接验证测量的  $s_H$  值,而不是进行上述重复性试验;然而,这个标准偏差值通常会高估缺乏重复性不确定度分量,因为它还包括 CRM 不均匀性。

对于这个示例,

$$|b| + U_{HTM} = 1.62 + 5.14 = 6.76 \text{ HV30}$$

$$b_E = 3\% \times 410 \text{ HV30} = 12.3 \text{ HV30}$$

由于试验机偏差加上确定偏差的扩展不确定度 [ $|b| + U_{HTM}$ ] 在最大允许偏差 ( $b_E$ ) 范围内,因此方法 M1 或方法 M2 均可使用。



表 F.1 根据方法 M1 和 M2 测定扩展不确定度

方法步骤	不确定度来源	符号	公式	文献/证书	示例
1 M1、M2	测量结果	$x$			$x = 410\text{HV30}$
2 M1	来源于间接验证的硬度试验机的测量偏差 ( $b$ ) 和测量结果偏差的不确定度 ( $U_{\text{HTM}}$ )	$b$ $U_{\text{HTM}}$ $u_{\text{HTM}}$	$u_{\text{HTM}} = \frac{U_{\text{HTM}}}{2}$	$b$ 和 $U_{\text{HTM}}$ $\overline{H}_{\text{CRM}} = 401.6\text{HV30}$ 的 CRM 的间接校准证书 <sup>a</sup>	$b = 1.62\text{HV30}$ $U_{\text{HTM}} = 5.14\text{HV30}$ $u_{\text{HTM}} = \frac{5.14}{2} = 2.57\text{HV30}$
3 M2	$b$ 的最大允许偏差	$b_E$	$b_E =$ 允许偏差的最大正值	来源于 ISO 6507-2: 2018 的表 5 的允许偏差 $b$	$b_E = 3\%$ $b_E = \frac{3 \times 410}{100} = 12.3\text{HV30}$
4 M2	由偏差的最大允许误差引起的标准不确定度	$u_E$	$u_E = b_E / \sqrt{3}$	矩形分布	$u_E = \frac{12.3}{\sqrt{3}} = 7.10\text{HV30}$
5 M1、M2	重复性测量的标准偏差	$s_H$	$s_H = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (H_i - \overline{H})^2}$	由实验室对与试验样品硬度接近的 CRM 进行的 5 次测量 <sup>b</sup>	$s_H = 3.2\text{HV30}$
6 M1、M2	由于缺乏重复性而产生的标准不确定度	$u_H$	$u_H = t \times s_H$	$t = 1.14$ 当 $n = 5$ (见 JCGM 100:2008 <sup>[10]</sup> )	$u_H = 1.14 \times 3.2 = 3.69\text{HV30}$
7 M1、M2	硬度值指示显示器分辨率引起的标准不确定度	$u_{ms}$	$u_{ms} = -\frac{2x}{d} \times \frac{\delta_{ms}}{2\sqrt{3}}$	$\delta_{ms} = 0.000\ 51\ \text{mm}$ $x = 410\text{HV30}$ $d = 0.368\ 4\ \text{mm}^c$	$u_{ms} = -\frac{2 \times 410.0}{0.368\ 4} \times \frac{0.000\ 51}{2 \times \sqrt{3}}$ $= -0.33\text{HV30}$

表 F.1 根据方法 M1 和 M2 测定扩展不确定度 (续)

方法步骤	不确定度来源	符号	公式	文献/证书	示例
8 M1	扩展不确定度的测定	$U_{M1}$	$U_{M1} = k \times \sqrt{u_H^2 + 2 \times u_{ms}^2 + u_{HTM}^2}$	步骤 2、步骤 6 和步骤 7 $k=2$	$U_{M1} = 2 \times \sqrt{3.69^2 + 2 \times (-0.33)^2 + 2.57^2}$ $U_{M1} = 9.04 \text{HV30}$
9 M1	测量结果与修正硬度	$X_{\text{corr}}$	$X_{\text{corr}} = (x - b) \pm U_{M1}$	步骤 1、步骤 2 和步骤 8	$x = 410 \text{HV30}$ $X_{\text{corr}} = (408 \pm 9) \text{HV30}$
10 M1	带修正不确定度的测量结果	$X_{\text{uncorr}}$	$X_{\text{uncorr}} = x \pm (U_{M1} +  b )$	步骤 1、步骤 2 和步骤 8	$x = 410 \text{HV30}$ $X_{\text{uncorr}} = (410 \pm 11) \text{HV30}$
11 M2	扩展不确定度的测定	$U_{M2}$	$U_{M2} = k \times \sqrt{u_H^2 + 2 \times u_{ms}^2 + u_E^2}$	步骤 4、步骤 6 和步骤 7 $k=2$	$U_{M2} = 2 \times \sqrt{3.69^2 + 2 \times (-0.33)^2 + 7.10^2}$ $U_{M2} = 16.0 \text{HV30}$
12 M2	测量结果	$X$	$X = x \pm U_{M2}$	步骤 1 和步骤 11	$x = 410 \text{HV30}$ $X = (410 \pm 16) \text{HV30}$

<sup>a</sup> 如果  $0.8 b_E < b < 1.0 b_E$ , 宜考虑 CRM 和样品之间硬度值的关系。

<sup>b</sup> 根据 GB/T 4340.2, 能使用基于上次间接验证测量的  $s_H$  值, 但通常会高估缺乏重复性不确定度分量, 因为它包括 CRM 不均匀性。如果要报告一个试样上多次硬度测量的平均值, 而不是一次硬度测量, 则步骤 5 中的  $s_H$  值宜替换为被测试样多次硬度测量的标准偏差除以硬度测量次数  $n$  的平方根, 步骤 6 中的  $t$  值宜适用于  $n$  次测量 ( $u_H = t \times s_H / \sqrt{n}$ )。计算出的不确定度分量  $u_H$ , 也将解释测试样本的不均匀性。

<sup>c</sup> 灵敏度系数  $-2x/d$ ;  $\partial x / \partial d$  用于将对角线长度 (单位为毫米) 的不确定度转换为 HV 的不确定度。

## 附录 G (资料性) 维氏硬度测量的溯源性

### G.1 溯源性定义

维氏硬度测量的可追溯性路径与许多其他测量参量(如长度或温度)不同。这主要是因为包括维氏硬度在内的硬度测量是按照规定的试验程序进行的,使用试验机在试验过程中对不同参数进行多次测量,如力、长度、时间。每个测量值以及其他测试参数都会影响硬度结果。

国际计量词汇表(VIM3)将计量溯源性定义为:

计量溯源性——测量结果的属性,通过记录在案的未中断校准链,结果可以与参考值相关,每个校准链都会导致测量不确定度, VIM3, 2012。

从这个定义来看,测量结果具有可追溯性需要两件事:

- a) 一个完整的校准链,每个校准链都会导致测量不确定度;
- b) 一个声称具有可追溯性的参考。这些将定义计量溯源链。

### G.2 校准链

GB/T 4340.2 规定了一套所需的校准和验证程序,以证明试验机适合根据本文件使用。校准程序包括直接测量影响机器性能的各种部件,如试验力、压头形状和压痕测量设备,以及一系列参考试块的硬度测量。这些校准测量中的每一个都有规定的限值,为了使机器通过验证,结果必须在该限值内。从历史上看,机器部件的校准和验证被称为机器的直接验证,通过参考试块测量对试验机的校准和验证被称为间接验证。

GB/T 4340.3 规定了校准试验机间接验证中使用的参考试块所需的程序,以及校准这些试块所需的机器校准和验证程序。

当考虑“不间断校准链”为试验机提供测量可追溯性时,很明显,这可以通过直接验证或间接验证路径实现。

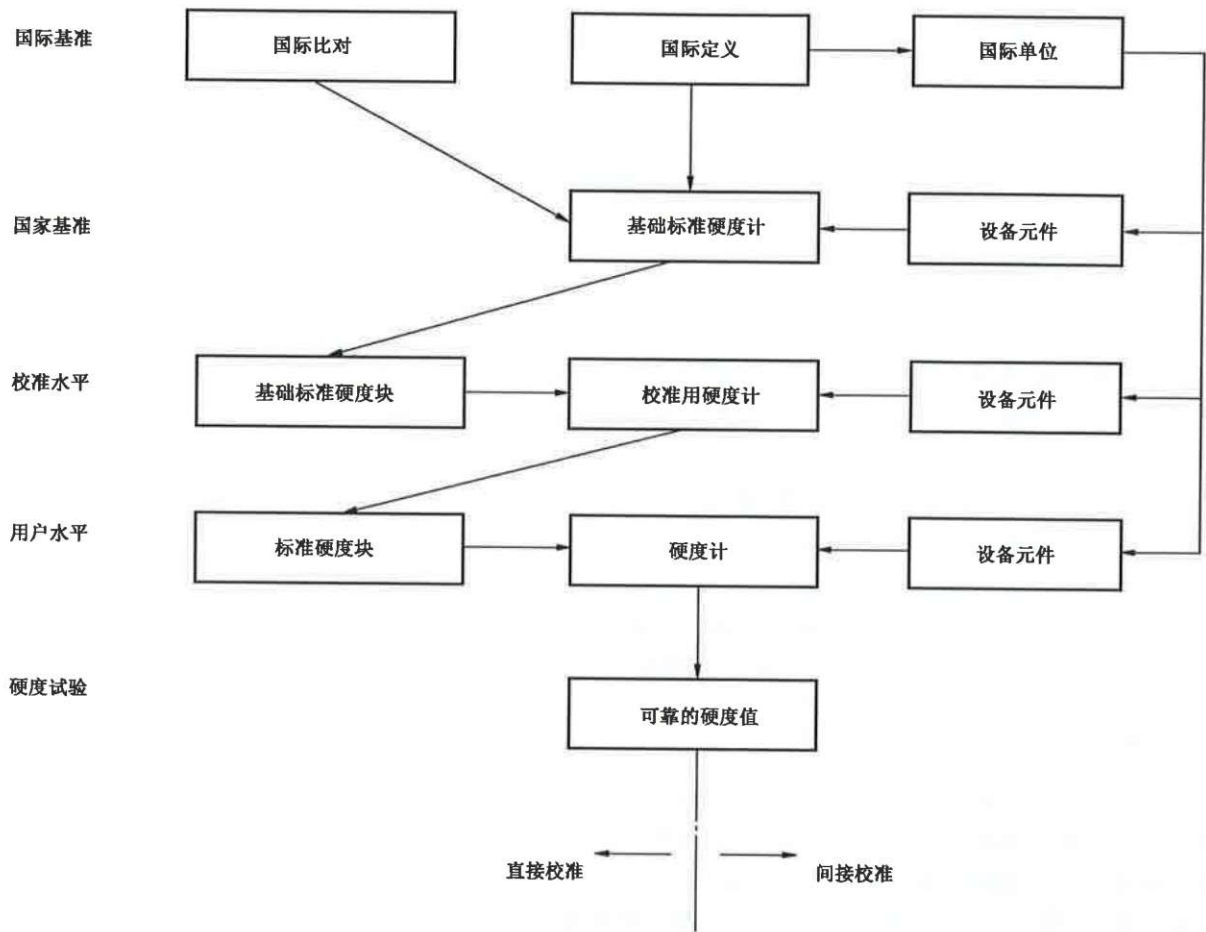
直接验证要求规定了试验机单个部件的测量值,其中每个测量值的可追溯性通过校准链达到国际单位制(SI),通常由国家计量研究所(NMI)实现。这些校准链如图 G.1 右侧所示。这些校准链共同构成了试验机的潜在可追溯路径。

图 G.1 的左侧显示了通过单个校准链为校准层次结构中的每个级别(即国家级、校准级和用户级)建立的可追溯性路径,其中包括对比试块的校准和维氏硬度计的后续间接验证。(国家级)一次标准机校准一次参考试块,然后用于校准(校准级)校准机。该机器校准最终用于校准(用户级)试验机的参考试块。

### G.3 维氏硬度基准

实现可追溯性的另一个要求是引用可追溯性。维氏硬度不是材料的基本特性,而是取决于规定试验方法的序数。理想情况下,维氏硬度测量的最终基准宜为该方法的国际公认定义,包括所有试验参数的值。硬度的可追溯性将通过实验室实现,该实现的准确性将反映在实验室的测量不确定度中,并通过国际比对予以确认。国际商定的定义将由 CCM-硬度工作组(CCM-WGH)(见附录 H)制定,并由标准化维氏硬度的 NMI 实现。目前,CCM-WGH 尚未制定维氏硬度标度的定义,因此最高参考通常是 NMI 根据自己选择的试验定义实现维氏硬度标度。如果 NMI 没有针对某些维氏标尺校准参考试块,一个国家内的最高参考可能是校准实验室实现维氏标尺的定义。





注：左侧表示通过校准层级（即国家级、校准级和用户级）中每个级别的单个校准链进行的溯源性路径，包括标准块的校准和洛氏硬度试验机的间接检定。基础标准硬度计（国家级）用于校准基础标准硬度块，基础标准硬度块用于校准用硬度计（校准级），校准用硬度计用于校准标准硬度块，标准硬度块用于校准硬度计（用户级）。

图 G.1 校准链

#### G.4 实际问题

图 G.1（左侧和右侧）所示的校准链的两条可追溯路径中的任何一条在理论上都可以提供对适当维氏硬度基准的可追溯性。然而，两者都有一些必须考虑的实际问题。对于图 G.1 右侧给出的直接验证路径，很难识别、测量并在必要时纠正可能影响测量硬度值的所有参数。即使机器通过了直接验证，如果一个或多个不受控或未识别的参数产生重大影响，也无法确保可追溯性。这种情况经常发生，并且在校准层次结构的较低级别上变得更为严重。

图 G.1 左侧所示的间接验证校准链也需要考虑实际问题。使用具有多个部件的试验机（每个部件在硬度试验期间进行测量）的一个后果是，一个部件的测量误差可以通过不同部件的测量误差进行补偿或抵消。这可能导致在间接验证期间对特定硬度水平和试块材料进行准确的硬度测量；然而，在测试其他硬度等级或材料时，测量误差可能会增加。如果单个机器部件中的错误很严重，则可能无法再次确保可追溯性。

#### G.5 维氏硬度测量的溯源性

##### G.5.1 总则

上述问题表明，为了实现维氏硬度测量的可追溯性，通常需要采用两种类型的可追溯路径。然



而,如果对测量过程进行仔细检查和评估,则仅基于这两条路径中的一条即可实现可追溯性。例如,在国家层面,由于没有公认的更高级别的硬度参考人工制品,NMI 主要维氏硬度标准机的可追溯性通过直接验证校准链实现。由于 NMI 通常有能力彻底评估其测量系统,且其不确定度水平通过与其他 NMI 的国际比对得到确认,因此可以通过该路径进行追溯。相比之下,几十年的维氏硬度测量经验表明,对于校准层次结构中的较低级别,主要基于间接验证校准链获得可追溯性和确定测量不确定度是最实际的;然而,单独机器部件数量值的适当可追溯性也很重要。这种可追溯性方案已被证明适用于工业维氏硬度测量。

### G.5.2 校准级可追溯性

测量可追溯性是通过间接验证校准链获得的,校准链使用的主要参考试块已在国家 NMI 水平上校准。这也是确定测量不确定度时应使用的路径。然而,同时,应经常校准校准机的指定部件,以确保偏移误差不显著。硬度可追溯性应为 NMI 对维氏硬度计 CCM-WGH 定义的实现,或当没有 CCM-WGH 定义时;可追溯性是指 NMI 实现其自己选择的定义。如果 NMI 未提供校准参考试块或与校准实验室进行比较测量,且使用参考试块或与校准实验室进行比较测量不可行,且使用另一个 NMI 的参考试块不可行,那么,声称可追溯性的参考可能需要校准实验室根据非惯性试验方法实现维氏标尺定义,如本文件定义的方法。在这种情况下,校准实验室的测量可追溯性可通过使用一致的对比试块标准的间接验证路径或通过内部比对确认的直接验证路径实现。

### G.5.3 用户级可追溯性

测量可追溯性最好通过间接验证校准链获得,使用校准级或国家级校准的参考试块。与校准级可追溯性一样,这是最实用的途径,也应用于测量不确定度的确定。硬度计的部件也需要定期进行直接检验,以确保偏移误差不显著。然而,典型的工业实践是仅在制造或维修硬度计时进行这些测量,这是本文件的最低要求。

注:用于本附录的下列术语参照 VIM3:

- 校准;
- 校准层次;
- 计量溯源;
- 计量溯源链;
- 序数;
- 验证。

附录 H  
(资料性)  
CCM-硬度工作组

1999年,国际计量委员会(CIPM)第88届会议期间,质量及相关量咨询委员会(CCM)主席 Kozo Iizuka 博士指出:“虽然硬度标尺的定义是在某种意义上武断选取准则而约定俗成的,测试方法由 SI 单位表示的物理量的组合定义;但是绝大多数国家计量机构(NMI)已经建立和维持了硬度标准,并且在工业和其他领域要求 NMI 标准的溯源性。”随后的讨论导致认识到硬度标准应包括在关键比较数据库(KCDB)中相互承认安排(MRA),因此在 CCM<sup>[21]</sup>框架下成立了一个全面的硬度工作组(CCM-WGH)。

CCM-WGH 的建立提供了一个技术外交框架,其中可以检查硬度影响参数,并且可以提出改进的国际定义的硬度测试,并批准 NMI 使用以降低最高国家级的测量差异。由于国际协议的必要性,CCM-WGH 与 ISO/TC 164/SC 3 密切联系,以确保硬度的适当传播。CCM-WGH 定义的最显著的改进是硬度测试的参数用具体值定义,而不是由本测试方法规定的可接受极限范围。适用时,该测试方法采用 CCM-WGH 定义的值作为使用值。

CCM-WGH 定义已经发布在 <http://www.bipm.org/>。



## 参 考 文 献

- [1] GB/T 4340.4 金属材料 维氏硬度试验 第4部分:硬度值表
- [2] GB/T 6462 金属和氧化物覆盖层 厚度测量 显微镜法
- [3] GB/T 21838.1 金属材料 硬度和材料参数的仪器化压入试验 第1部分:试验方法
- [4] GB/T 21838.2 金属材料 硬度和材料参数的仪器化压入试验 第2部分:试验机的检验和校准
- [5] GB/T 21838.3 金属材料 硬度和材料参数的仪器化压入试验 第3部分:标准块的标定
- [6] GB/T 21838.4 金属材料 硬度和材料参数的仪器化压入试验 第4部分:金属和非金属覆盖层的试验方法
- [7] GB/T 33362 金属材料 硬度值的换算
- [8] JJF 1059.1 测量不确定度评定与表示
- [9] ISO 6507-2:2018 Metallic materials—Vickers hardness test—Part 2: Verification and calibration of testing machines
- [10] JCGM 100:2008 (GUM 1995 with minor corrections), Evaluation of measurement data—Guide to the expression of uncertainty in measurement. BIPM/IEC/IFCC/ILAC/ISO/IUPAC/IUPAP/OIML, 2008.
- [11] EURAMET cg-16 Ver.2.0, Guidelines on the Estimation of Uncertainty in Hardness Measurements, 2011.
- [12] SANPONPUTE.T, MEESAPLAK, A. Vibration Effect on Vickers Hardness Measurement, Proceedings of IMEKO 2010 TC3, TC5 and TC22 Conferences, pp.145-149.
- [13] DENGEL, D. Wichtige Gesichtspunkte für die Härtemessung nach Vickers und nach Knoop im Bereich der Kleinlast- und Mikrohärtigkeit, Z. f. Werkstofftechnik 4 (1973), pp.292-298. (Note: short extract.)
- [14] BÜCKLE, H. Mikrohärtprüfung und ihre Anwendung. Verlag Berliner Union Stuttgart, 1965, pp.296. (Note: very extensive.)
- [15] BÜCKLE, H. Echte und scheinbare Fehlerquellen bei der Mikrohärtprüfung: Ihre Klassifizierung und Auswirkung auf die Messwerte. VDI-Berichte 11 (1957), pp.29-43. (Note: extensive.)
- [16] MATTHAEI, E. Härteprüfung mit kleinen Prüfkraften und ihre Anwendung bei Randschichten (kritische Literaturbewertung), pp.47, 192 Schrifttumshinweise. Verlag DGM-Informationsgesellschaft Oberursel, 1987. (Note: overall view of sources.)
- [17] Gabauer W. Manual of Codes of Practice for the Determination of Uncertainties in Mechanical Tests on Metallic Materials, The Estimation of Uncertainties in Hardness Measurements, Project, No. SMT4-CT97-2165, UNCERT COP 14:2000.
- [18] Gabauer W., & Binder O. Abschätzung der Messunsicherheit in der Härteprüfung unter Verwendung der indirekten Kalibriermethode, DVM Werkstoffprüfung, Tagungsband 2000, S. pp. 255-261.
- [19] Polzin T., & Schwenk D. Estimation of Uncertainty of Hardness Testing; PC file for the determination, Materialprüfung, 3, 2002 (44), pp.64-71.
- [20] VIM. International vocabulary of metrology—Basic and general concepts and associated terms, VIM, 3rd edition (2008 version with minor corrections), JCGM 200:2012 available via <http://www.bipm.org/en/publications/guides/vim.html>



[21] IIZUKA K. Worldwide Activities Around Hardness Measurement—Activities in CCM/CIPM, IMEKO/TC5, OIML/TC10 and ISO/TC164 in Proceedings HARDMEKO 2007, Tsukuba, Japan, 2007, 1-4.

---

中华人民共和国  
国家标准  
金属材料 维氏硬度试验  
第1部分：试验方法  
GB/T 4340.1—2024

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
各地新华书店经销

\*

开本 880×1230 1/16 印张 2.5 字数 57 千字  
2024年5月第一版 2024年5月第一次印刷

\*

书号: 155066·1-76179 定价 65.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换  
版权专有 侵权必究  
举报电话:(010)68510107



GB/T 4340.1—2024