



中华人民共和国国家标准

GB/T 4340.2—202X/ISO 6507-2:2018

代替 GB/T 4340.2—2012

金属材料 维氏硬度试验 第2部分：硬度计的检验与校准

**Metallic materials — Vickers hardness test —
Part 2: Verification and calibration of testing machines**

(ISO 6507-2: 2018, IDT)

(征求意见稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 一般要求.....	1
5 直接检验.....	2
5.1 总则.....	2
5.2 试验力的校准.....	2
5.3 压头的检验.....	3
5.4 压痕测量系统的检验与校准.....	4
5.5 试验循环时间的检验.....	4
5.6 检验/校准的不确定度.....	4
6 间接检验.....	4
6.1 总则.....	4
6.2 试验力和硬度水平.....	4
6.3 标准压痕的测量.....	5
6.4 压痕数目.....	5
6.5 检验结果.....	5
6.6 重复性（相对重复性的计算方法 重复性的判定要求变化）.....	5
6.7 误差.....	6
6.8 校准/检验的不确定度.....	6
7 检验周期.....	6
8 检验报告/校准证书.....	7
8.1 维氏硬度计.....	7
8.2 维氏压头.....	7
附录 A（资料性） 硬度计校准结果的测量不确定度.....	8
参考文献.....	16

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。

GB/T 4340《金属材料 维氏硬度试验》由下列四个部分构成：

- 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。

本文件为GB/T 4340的第2部分。

本文件代替GB/T 4340.2—2012《金属材料 维氏硬度试验 第2部分：硬度计的检验与校准》。与GB/T 4340.2—2012 相比，主要技术变化如下：

- 对于不受主轴位置影响的试验力，增加了只在主轴一个位置上校准的简化校准方法（见 5.2.1，2012年版的 4.2.1）；
- 对于试验力的校准，增加了“0.009807 N~0.09807 N”小标称试验力范围及其该范围内试验力最大允许误差的要求（见表 1，2012年版的表 1）；
- 增加了评定直接检验中检验/校准结果测量不确定度的要求（见 5.6）；
- 删除了所有小于 0.02 mm 压痕的标准值；
- 更改了有关测量系统校准和检验的要求；
- 更改了有关测量标准压痕最大允许误差的要求；
- 有关压头的期间核查的要求移至 GB/T 4340.1 文件中；
- 检验报告中增加了报告所用标准硬度块硬度值的要求；
- 更改了附录 A（见附录 A，2012年版的附录 B）。

本文件等同采用 ISO 6507-2:2018《金属材料 维氏硬度试验 第2部分：硬度计的检验与校准》。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动：

- 删除了ISO 6507-2:2018的前言，重新编写了前言；
- 用中文的小数点符号“.”代替英文的小数点符号“，”。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国试验机标准化技术委员会（SAC/TC 122）归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- 1987年首次发布为GB/T 7664—1987；
- 1997年第一次修订以新的标准编号GB/T 17198—1997发布；
- 1999年第二次修订以分为部分的文件编号发布为GB/T 4340.2—1999；
- 2012年第三次修订，部分文件编号不变，发布为GB/T 4340.2—2012；
- 本次为第四次修订。

金属材料 维氏硬度试验

第2部分：硬度计的检验与校准

1 范围

本文件规定了按照GB/T 4340.1测定维氏硬度用的维氏硬度计（以下简称“硬度计”）和压痕测量系统的检验与校准方法。

规定了硬度计、压头和压痕测量系统的直接检验方法，并规定了用标准硬度块对硬度计整机检测的间接检验法。

如果硬度计还用于其他方法的硬度试验，则应分别按照每一种方法单独对硬度计进行检验。

本文件也适用于便携式硬度计，但不适用基于测量原理不同于本文件的硬度计，如基于超声波阻抗法测量硬度的超声硬度计。

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 4340.1 金属材料 维氏硬度试验 第1部分：试验方法（GB/T 4340.1-20xx，ISO 6507-1:2023，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 4340.3-20xx，ISO 6507-3:2018，MOD）

GB/T 13634 金属材料 单轴试验机检验用标准测力仪的校准（GB/T 13634-2019，ISO 376:2011，IDT）

3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

4 一般要求

在检验硬度计以前，应对其进行检查以确保硬度计按制造者的说明书正确安装。

宜特别检查下列各项：

- a) 压头主轴在其导向体中能够无摩擦/过大侧向窜动（移动）；
- b) 压头柄牢固地安装在主轴孔中；
- c) 试验力的施加和卸除无冲击、振动或过载，且不影响读数；
- d) 压痕测量系统：
 - 1) 如果测量装置与主机为一体，则从卸除试验力到测量压痕的转换过程不影响读数；
 - 2) 测量显微镜的照明装置在整个观测视场中产生均匀的照明，使压痕与其周围表面形成足够的对比度，能清晰地确定边界；
 - 3) 必要时，压痕中心位于视场中心。

注：本文件规定的硬度计检验与校准细则经过了不断发展和完善。当确定硬度计的误差时，要考虑测量装置和/或参考标准相关的不确定度，且不适合扩大不确定度的允许值，例如减小测量不确定度的公差。无论直接检验还是间接检验均如此。

5 直接检验

5.1 总则

5.1.1 直接检验应按照第 7 章规定的检验周期进行。

5.1.2 直接检验包括：

- a) 试验力的校准；
- b) 压头的检测；
- c) 压痕测量装置的校准与检验；
- d) 试验循环时间的检验。

5.1.3 直接检验宜在 $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的温度范围内进行。如果在此温度范围以外进行检验，则应在检验报告中注明。

5.1.4 用于检验和校准用的器具应溯源到国家基准。

5.2 试验力的校准

5.2.1 硬度计工作范围内的每一个试验力均应进行测量。在检测过程中，若压头位置会影响施加力时，就应在主轴的整个移动范围内，至少在三个间隔相等的位置上对其试验力进行检测。

若硬度计的试验力不受主轴位置的影响，如采用闭环加力控制系统，其试验力可在一个位置进行检测。

5.2.2 试验力应通过下述两种方式之一进行检测：

- 使用符合 GB/T 13634 规定的 1 级或优于 1 级的标准测力仪检测；
- 用校准过质量的砝码或具有相同准确度的其他方法施加一个示值误差在 $\pm 0.2\%$ 以内的力，使该力与被检测的试验力相平衡。

宜提供证据证明在试验力阶梯变化后 1-30s 期间内，测力装置的输出变化不超过 $\pm 0.2\%$ 。

5.2.3 在主轴的每一位置上，每个试验力 F 应读取三个读数。在每次测量读数前，主轴的移动方向应与试验时的移动方向一致。所有读数均应满足表 1 规定的试验力相对误差最大允许值 ΔF_{rel} 的要求。

试验力 F 的相对误差 ΔF_{rel} 按照公式 (1) 计算：

$$\Delta F_{\text{rel}} = \frac{F - F_{\text{RS}}}{F_{\text{RS}}} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

F ——试验力测量值；

F_{RS} ——试验力的标准值。

表 1 试验力允差

试验力范围, F_{RS} N	最大允许相对误差 ΔF_{rel} % F_{RS}
$0.009807 \leq F_{\text{RS}} < 0.09807$	± 2.0
$0.09807 \leq F_{\text{RS}} < 1.961$	± 1.5
$F_{\text{RS}} \geq 1.961$	± 1.0

5.3 压头的检验

5.3.1 金刚石正四棱锥体的四个面应抛光且无表面缺陷。

5.3.2 能够通过直接测量或光学仪器检测压头的形状。用于检验压头形状仪器的扩展不确定度不应大于 0.07° 。

5.3.3 金刚石棱锥体锥顶两相对面夹角应在 $136^\circ \pm 0.5^\circ$ 范围内（见图1）。

两相对面夹角也可以通过两相对棱夹角确定。夹角应在 $148.11^\circ \pm 0.76^\circ$ 范围内。

5.3.4 金刚石棱锥体轴线与压头柄轴线（垂直于安装面）的夹角应小于 0.50° 。

5.3.5 理想情况下，四个面宜相交于一个共同点，但一般情况下两个相对面往往相交于一条线，见图2。相交线的长度宜直接测量压头顶部或者压痕顶部印记。交线的最大允许长度见表2。

5.3.6 应具有能够证明压头几何偏差的有效检验证书（见8.2）。

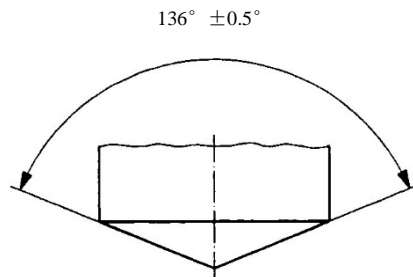
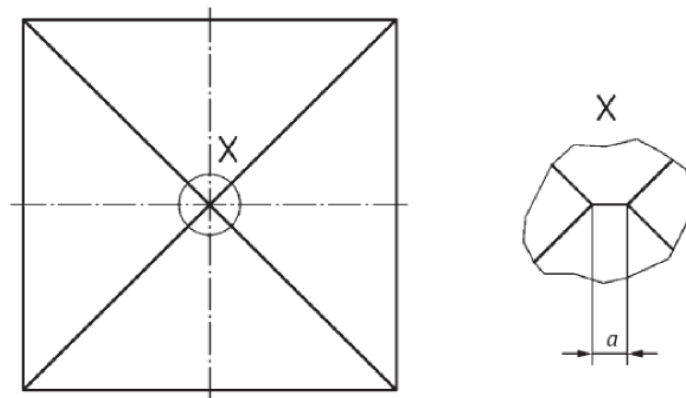


图1 金刚石棱锥体的锥角



说明：

a —— 交线长度。

图2 压头锥顶交线的示意图

表2 相对面交线的最大允许长度

试验力范围, F N	交线的最大允许长度, a mm
$0.009\ 807 \leq F < 1.961$	0.0005
$1.961 \leq F < 49.03$	0.001
$F \geq 49.03$	0.002

5.4 压痕测量系统的检验与校准（争议点）

5.4.1 压痕测量装置的每个分辨力和使用的标尺分度均应被检验。一个标尺若用于两个相互垂直的轴线方向，则这两个方向均应校准。应使用标准线纹尺进行测量。标准线纹尺线间距的扩展不确定度应满足表3的规定。

5.4.2 应至少在以视场为中心区域的四个等间距分布的位置进行测量，测量位置覆盖整个工作范围。每个位置应测量三次，每次测量的最大允许误差应满足表3的规定。

表3 测量系统的检验与校准要求

测量参数	检验要求
标准线纹尺间距最大扩展不确定度（见5.4.1）	0.000 4 mm 或 0.2%
压痕测量系统的最大允许误差（见5.4.2）	0.000 8 mm 或测量长度的1.0%

5.5 试验循环时间的检验

试验循环时间的最大允许误差为±0.5s¹⁾。所测得的循环时间应符合GB/T 4340.1的规定。

5.6 检验/校准的不确定度

应确定检验/校准的不确定度，示例见附录A。

6 间接检验

6.1 总则

6.1.1 间接检验周期应参照第7章进行。

6.1.2 间接检验使用按GB/T 4340.3标定的标准硬度块对硬度计的性能进行检验。

6.1.3 间接检验宜在(23±5)℃的温度范围内进行检验，如果在此温度范围以外进行检验，则应在检验报告中记录。

6.1.4 用于检验和校准的装置或仪器应能溯源到国家基准。

6.2 试验力和硬度水平

应使用按照GB/T 4340.3标定的标准硬度块对硬度计进行检验：

- a) 应在每一个所使用的试验力下对标准硬度块进行检验。
- b) 当使用的试验力超过一个时，对于每个试验力的检验，都应从以下规定的硬度范围中至少选择两个标准硬度块。应合理选择标准硬度块组，以使下列每一个硬度范围中至少有一个硬度块用于检验。
- c) 当所检验的硬度计仅使用一个试验力时，应选择三个标准硬度块，从下列规定的三个硬度范围中各选用一块。
- d) 当使用特定的试验力时，若可能，宜合理选择硬度范围，以便最大程度上接近硬度计待测的硬度水平从而利于检验。
 - 1) <250 HV；
 - 2) 400 HV~600 HV；
 - 3) >700 HV。

¹⁾ 国际标准 ISO 6507-2:2018 原文中为±1.0s。

6.3 标准压痕的测量

应测量每一个标准硬度块上的每个标准压痕。

对每个压痕,平均测量值与证书给出的平均对角线长度之间的差值不应超出 $\pm 0.001\text{mm}$ 或者标准压痕长度的 $\pm 1.25\%$ ²⁾。

也可在硬度值相近、压痕尺寸也相近的另一个标准硬度块上进行检测。

6.4 压痕数目

在每一个标准硬度块上应压出五个压痕并测量。试验应按GB/T 4340.1进行。仅对标准硬度块的工作面进行检验。

6.5 检验结果

将每一标准硬度块上所测得的硬度值 H_1 、 H_2 、 H_3 、 H_4 、 H_5 ,按从小到大递增的次序排列,则每个硬度值对应的对角线长度为 d_1 、 d_2 、 d_3 、 d_4 、 d_5 从大到小呈递减次序排列。平均硬度值 \bar{H} 按照公式(2)计算,对角线平均长度 \bar{d} 按照公式(3)计算:

$$\bar{H} = \frac{H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5}{5} \quad (2)$$

$$\bar{d} = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5}{5} \quad (3)$$

6.6 重复性

硬度计的相对重复性 r_{rel} ,以 \bar{H} 的百分比表示,按照公式(4)计算:

$$r_{rel} = \frac{H_5 - H_1}{\bar{H}} \times 100\% \quad (4)$$

若 $(d_1 - d_5) \leq 0.001\text{mm}$,则硬度计的重复性满足要求。若 $(d_1 - d_5) > 0.001\text{mm}$,且相对重复性 r_{rel} 小于等于表4中给出的值,则硬度计的重复性满足要求。(相比2012年版:数值改变)

表4 硬度计相对重复性最大允许值(相比2012年版:数值完全改变)

标准硬度块的硬度	硬度计 HV 相对重复性最大允许值 r_{rel}		
	%HV		
	HV5~HV100	HV0.2~<HV5	<HV0.2
HV \leq 250	6.0	12.0	18.0
HV $>$ 250	4.0	8.0	12.0

注:硬度较低材料的重复性数值往往大于硬度较高的材料。

²⁾ 这里的“士”号是本部分加上的,国际标准 ISO 6507-2:2005 原文中没有该符号

6.7 误差

在规定的检验条件下，硬度计的误差**b**按照公式（5）计算：

$$b = \bar{H} - H_{CRM} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

H_{CRM} ——所用标准硬度块的标定硬度值。

相对误差**b_{rel}**按照公式（6）计算：

$$b_{rel} = \frac{\bar{H} - H_{CRM}}{H_{CRM}} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

硬度计的最大允许相对误差不应超出表5的规定。

表 5 硬度计最大允许误差 (相比 2012 年版：完全改变)

对角线长度平均值 \bar{d} mm	硬度计最大允许误差 b_{rel} %
$0.02 \leq \bar{d} < 0.14$	$\pm (0.21/\bar{d} + 1.5) \text{ HV}$
$0.14 \leq \bar{d} \leq 1.4$	$\pm 3\text{HV}$

6.8 校准的不确定度

应明确硬度计校准结果的测量不确定度，示例见附录A。

7 检验周期

硬度计的直接检验应按照表6的规定进行。直接检验的周期建议为12个月。（相比2012年版：增加）间接检验的周期不应超过一年。每次直接检验后进行间接检验。

表 6 硬度计直接检验

检验条件	试验力	压痕测量系统	试验循环时间	压头 ^a
安装后首次工作前	√	√	√	√
拆卸并重新装配后，试验力、测量装置、或试验循环时间受到影响	√	√	√	-
间接检验不合格 ^b	√	√	√	-
间接检验周期超过 13 个月	√	√	√	-

^a 建议压头使用两年后进行直接检验。
^b 可对这些检验项目按顺序进行直接检验（直到通过间接检验）。如果能够证明压头损坏的原因（例如用标准压头进行试验），则不需进行直接检验。

8 检验报告/校准证书

8.1 维氏硬度计

检验报告/校准证书应包含以下内容：

- a) 注明执行本文件，即 GB/T 4340.2；
- b) 检验方法[直接和(或)间接检验]；
- c) 硬度计的标识；
- d) 检验器具（标准硬度块、标准测量仪等）；
- e) 检测的试验力；
- f) 使用的标准硬度块的硬度值；
- g) 如超出 5.1.4 的规定，注明检验温度；
- h) 检验结果；
- i) 检验日期和检验机构；
- j) 检验结果的不确定度。

8.2 维氏压头（相比 2012 年版：增加）

检验报告/校准证书应包含以下内容：

- a) 注明执行本文件，即 GB/T 4340.2；
- b) 压头序列号；
- c) 检验结果；
- d) 检验日期和检验机构；
- e) 检验结果的不确定度。

附录 A

(资料性)

硬度计校准结果的测量不确定度

A.1 概述

测量不确定度分析是确定误差来源和理解测量结果差异的一种有利工具。本附录给出了有关不确定度的评定指南, 如果客户无特殊要求, 本方法可供参考。本文件针对硬度计的性能提出的准则已经过相当长的一段时间的发展和完善。当测定硬度计需要满足某一项规定的允差时, 该允差已包含了与所使用的测量器具和(或)参考标准相关的不确定度, 因此, 对该不确定度做任何进一步的修正(例如: 通过测量不确定度来减小允差)都是不适当的。这适用于对硬度计进行直接检验或间接检验时做的所有测量。在不同情况下, 这些值可以是用于评估硬度计是否符合本文件规定时, 所使用的规定计量器具和(或)参考标准所测得的简单测量值。然而在一些特殊情况下, 通过测量不确定度减小允差也是允许的。这种情况仅适用于相关方协商一致达成协议的场合。

硬度标尺的定义和量值传递所需的计量链见 ISO 6507-1。

A.2 硬度计的直接检验

A.2.1 试验力的校准

校准试验力的合成相对标准不确定度按公式(A.1)计算:

$$u_F = \sqrt{u_{FRS}^2 + u_{FHTM}^2} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

u_{FRS} —— 标准测力仪的相对标准不确定度(在校准证书中给出);

u_{FHTM} —— 硬度计试验力的相对标准不确定度。

标准测力仪的测量不确定度在相应的标准证书中给出。对于重要的应用宜考虑下列影响量, 例如:

——温度相关性;

——长期稳定度;

——内插法误差。

根据传感器的结构设计, 在校准过程中还宜考虑将传感器相对硬度计的压头轴线转位。

示例:

计算结果见表A.1, 具体计算过程如下:

——标准测力仪的扩展不确定度(由校准证书给出): $U_{FRS} = 0.12\% (k=2)$

——标准测力仪的标准力值: $F_{RS} = 294.2\text{N}$

试验力的相对合成标准校准不确定度 u_F 按照公式(A.1)计算, 见表A.2。

在表A.1中, 试验力相对偏差按照公式(A.2)计算:

$$\Delta F_{rel,i,j} = \frac{F_{ij} - F_{RS}}{F_{RS}} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中， F_{ij} 是第*j*次测量的第*i*个位置试验力的测量值。

相对标准不确定度按照公式 (A.3) 计算：

$$u_{FHTM,i} = \frac{s_{F_i}}{F} \times \frac{t}{\sqrt{n}}, (n = 3, t = 1.32) \dots\dots\dots (A.3)$$

式中， s_{F_i} 是第*i*个位置试验力示值的标准偏差。

表A.1 试验力的校准结果

测量位置 (i)	系列 1		系列 2		系列 3		平均值 \bar{F}_i N	标准偏差 s_{F_i} N	相对标准不确定度 $u_{FHTM,i}$ %
	力值 $F_{i,1}$ N	相对偏差 $\Delta F_{rel,i,1}$ %	力值 $F_{i,2}$ N	相对偏差 $\Delta F_{rel,i,2}$ %	力值 $F_{i,3}$ N	相对偏差 $\Delta F_{rel,i,3}$ %			
	1	294.7	0.170	294.9	0.238	294.5			
2	293.9	-0.102	294.5	0.102	294.6	0.136	294.3	0.379	0.98×10^{-3}
3	293.1	-0.374	294.0	-0.068	293.7	-0.170	293.6	0.458	1.19×10^{-3}

在表A.2 中, 试验力的相对标准不确定度 $u(x_p)$ 使用表A.1中 $u_{FHTM,i}$ 的最大值 (这种情况下, 最大值为 $u_{FHTM,3}$) 。

表A.2 试验力测量不确定度的计算

不确定度分量 X_p	估计值 x_p	相对极限值 a_p	分布类型	相对标准测量不确定度 $u(x_p)$	代号	灵敏系数 c_p	相对不确定度的分布 $u_p(F)$
标准测力仪测量的力	294.2N	±0.12%	正态	0.6×10^{-3}	u_{FRS}	1	0.6×10^{-3} N
硬度计产生的试验力	0N	±1%	正态	1.19×10^{-3}	u_{FHTM}	1	1.19×10^{-3} N
相对合成标准不确定度 u_F , %							0.133
相对扩展测量不确定度 U_F ($k=2$), %							0.266

在表A. 3中，试验力的最大允许相对误差 ΔF_{\max} （包含标准测力仪的测量不确定度）按照公式

(A. 4) 计算， $\Delta F_{\text{rel},i,j}$ 使用表A. 1中绝对值最大的（这种情况下为 $\Delta F_{\text{rel},3,1}$ ）。

$$\Delta F_{\max} = |\Delta F_{\text{rel},i,j}| + U_F \dots\dots\dots (A. 4)$$

表A. 3 试验力最大相对误差（包含标准测力仪测量不确定度）计算

试验力相对偏差绝对值最大值 $\Delta F_{\text{rel},i,j}$ %	试验力扩展相对测量不确定度 U_F	试验力最大相对误差 ΔF_{\max}
-0.374%	0.266%	0.640%

示例结果表明，试验力的相对误差（包含标准测力仪的测量不确定度）符合5. 4规定的±1. 0%的要求。

A. 2. 2 压痕测量系统的校准

压痕测量系统的合成相对标准不确定度按公式 (A. 6) 计算：

$$u_L = \sqrt{u_{LRS}^2 + 2 \times u_{ms}^2 + u_{LHTM}^2} \dots\dots\dots (A. 5)$$

式中：

u_{LRS} ——由校准证书给出的标准线纹尺（参考标准）的相对测量不确定度， $k=1$ ；

u_{ms} ——压痕测量系统分辨力引入的相对测量不确定度；

u_{LHTM} ——硬度计的相对标准测量不确定度。

关于 u_{ms} ，不仅要考虑测量系统显示装置的分辨力还要考虑测量所用显微镜的光学分辨力。大

多数情况下，在计算 u_L 时，测量系统总分辨力宜考虑两次，因为要分辨标准线纹尺的零点和刻度线的位置。

标准线纹尺的测量不确定度在其相应的校准证书中给出。主要影响因素，如下：

- 温度相关性；
- 长期稳定度；
- 内插法误差。

这些影响因素不会对校准所用的标准线纹尺的测量不确定度产生实质的影响。

示例：

本示例，进行了5个间隔的测量（0. 05mm、0. 10mm、0. 20mm、0. 30mm和0. 40mm）。

计算结果见表A. 4，具体计算过程如下：

——标准线纹尺的扩展测量不确定度： $U_{LRS}=0.0001 \text{ mm} (k=2)$

——显微物镜的分辨力： $\delta_{OR}=0.00034 \text{ mm}$

注： $\delta_{OR} = \lambda / (2 \times NA)$ 。

式中：

λ ——光波长度 单位 μm (绿光光波长度近似为 $0.55 \mu\text{m}$)；

NA——物镜的光圈数。

$$\delta_{OR} = \frac{0.55 \mu\text{m}}{2 \times 0.8} = 0.34 \mu\text{m}$$

例如，对物镜 100 x，使用绿光 光圈 NA 为 0.8 来说，

对于大角度的光线，上面的光学分辨力的计算公式仍然有效。

——测量系统显示装置的分辨力： $\delta_m = 0.0001 \text{ mm}$

——压痕测量系统的总分辨力按照公式 (A.7) 计算：

$$\delta_{ms} = \sqrt{\delta_{OR}^2 + \delta_m^2} = 0.00035 \text{ mm} \dots\dots\dots (A.6)$$

压痕测量系统的合成相对标准不确定度 u_L 按照公式 (A.6) 计算，计算结果见表 A.5。

在表 A.4 中， $\Delta L_{rel,i,j}$ 是标准线纹尺第 j 次测量的第 i 个间隔的相对偏差，按照公式 (A.8) 计算：

$$\Delta L_{rel,i,j} = \frac{L_{ij} - L_{RS,i}}{L_{RS,i}} \times 100\% \dots\dots\dots (A.7)$$

式中：

$L_{RS,i}$ ——标准线纹尺第 i 个间隔值；

L_{ij} ——标准线纹尺第 j 次测量的第 i 间隔的测量值。

表A.4 压痕测量系统的校准结果

顺序 i	标准刻线尺 的示值 (i) $L_{RS,i}$ mm	系列 1		系列 2		系列 3		平均值 \bar{L}_i mm	标准偏差 s_{L_i} mm
		$L_{i,1}$ mm	$\Delta L_{rel,i,1}$ %	$L_{i,2}$ mm	$\Delta L_{rel,i,2}$ %	$L_{i,3}$ mm	$\Delta L_{rel,i,3}$ %		
1	0.05	0.050 0	0.000	0.050 0	0.000	0.050 1	0.200	0.050 1	0.000 058
2	0.10	0.100 2	0.200	0.100 0	0.000	0.100 1	0.100	0.100 1	0.000 100
3	0.20	0.200 1	0.050	0.199 9	-0.050	0.200 1	0.050	0.200 0	0.000 115
4	0.30	0.299 7	-0.100	0.300 1	0.033	0.300 1	0.033	0.300 0	0.000 231
5	0.40	0.400 2	0.050	0.400 1	0.025	0.400 3	0.075	0.400 2	0.000 100

压痕测量系统的标准不确定度 u_L 按照公式 (A.6) 计算。 u_L 贡献的计算见表 A.5, 具体如下：

标准线纹尺第 i 个间隔的测量相对标准合成不确定度按照公式 (A. 9) 计算:

$$u_{LRS,i} = \frac{U_{LRS}/2}{L_{RS,i}} \dots\dots\dots (A. 8)$$

在第 i 个间隔, 压痕测量系统分辨力引入的相对标准不确定度按照公式 (A.10) 计算:

$$u_{ms,i} = \frac{\delta_{ms}/2\sqrt{3}}{L_{RS,i}} \dots\dots\dots (A. 9)$$

第 i 个间隔, 硬度计的相对标准不确定度按照公式 (A.11) 计算:

$$u_{LHTM,i} = \frac{s_{L_i}}{\bar{L}_i} \times \frac{t}{\sqrt{n}} (n = 3, t = 1.32) \dots\dots\dots (A. 10)$$

式中:

s_{L_i} ——在第 i 个间隔, 标准测微计测量值的标准偏差;

\bar{L}_i ——在第 i 个间隔, 标准测微计测量值的平均值。

表A. 5 压痕测量系统的测量不确定度的计算

分量 X_p	分布类型	估算值 x_p	符号	计算公式 相对标准不确定度 $u(x_p)$
标准线纹尺	正态	$L_{RS,i}$	u_{LRS}	$u_{LRS,i} = \frac{u_{LRS}/2}{L_{RS,i}}$
测量系统分辨力(2倍)	矩形	0.00035mm	u_{ms}	$u_{ms,i} = \frac{\delta_{ms}/2\sqrt{3}}{L_{RS,i}}$
测量系统准确性	正态	$L_{RS,i}$	u_{LHTM}	$u_{LHTM,i} = \frac{s_{L_i}}{\bar{L}_i} \times \frac{t}{\sqrt{n}}$ $(n=3, t=1.32)$
相对合成测量不确定度 $u_{L,i},\%$				

相对扩展测量不确定度 $U_{L,i} (k=2)$, %

在表A.6中, 第*i*个测量间隔的测量系统最大允许误差(包含标准线纹尺的不确定度) $\Delta L_{\max,i}$ 按照公式(A.12)计算:

$$\Delta L_{\max,i} = \max|\Delta L_{\text{rel},i}| + U_{L,i} \dots\dots\dots (A.11)$$

式中, $\max|\Delta L_{\text{rel},i}|$ 是标准测微计相对偏差 $\Delta L_{\text{rel},i}$ 绝对值的最大值, 见表A.4。

表A.6 包含标准测微计不确定度的测量装置最大相对误差的计算

序号	标准线纹尺间隔 (<i>i</i>) $L_{RS,i}$	测量系统的最大相对误差 $\max \Delta L_{\text{rel},i} $	扩展不确定度 $U_{L,i}$	包含标准线纹尺不确定度的最大相对误差 $\Delta L_{\max,i}$	最大允许相对误差规定值 (见5.4)
1	0.05mm	0.20%	0.70%	0.90%	1.2%
2	0.10mm	0.20%	0.37%	0.57%	1.0%
3	0.20mm	0.05%	0.19%	0.24%	1.0%
4	0.30mm	0.10%	0.16%	0.26%	1.0%
5	0.40mm	0.07%	0.09%	0.17%	1.0%

此例结果表明, 包含标准测微计不确定度的测量系统相对误差符合5.4的规定。

A.2.3 压头的检测

压头包括压针和压头柄不能通过在现场进行检测(见5.3)。

A.2.4 试验循环时间的检测

在测量过程中, 当用通常的时间测量装置(秒表)测量时, 给出的测量不确定度为0.1s。因此, 不需要评价测量不确定度。

A.3 硬度计的间接检验

使用标准硬度块进行间接检验, 能检查硬度计的综合性能, 同时根据标准硬度块的标准值测定出硬度计的重复性及误差。

注: 在本附录中, 根据硬度试验的标准的定义, 下标“CRM”(有证标准物质)的含义是“标准硬度块”。

间接检验时硬度计的测量不确定度按公式(A.13)计算:

$$u_{\text{HTM}} = \sqrt{u_{\text{CRM}}^2 + u_{\text{CRM-D}}^2 + u_{\text{H}}^2 + 2 \times u_{\text{ms}}^2} \dots\dots\dots (A.12)$$

式中:

u_{CRM} ——标准证书给出的标准硬度块的标准不确定度($k=1$);

u_{CRM-D} ——标准维氏硬度块自最近一次标定后，其硬度值随时间漂移引入的标准不确定度（当使用满足标准要求标准硬度块检测时，此分量可忽略不计）；

u_H ——由硬度计测量结果引入的标准不确定度；

u_{ms} ——由硬度计压痕测量装置分辨力引入的标准不确定度。

示例：

计算结果见表 A. 7，具体计算过程如下：

——标准硬度块的硬度值： $H_{CRM} = 400.0 \text{ HV } 30$

——标准硬度块的扩展测量不确定度： $U_{CRM} = 5.0 \text{ HV } 30 \quad k=2$

——硬度计测量系统的分辨力： $\delta_{ms} = 0.00035\text{mm}$

按照公式 (A. 14) 计算：

$$\delta_{ms} = \sqrt{\delta_{OR}^2 + \delta_{IR}^2} \dots\dots\dots (A. 13)$$

式中：

δ_{OR} ——显微物镜（0.00034mm）的光学分辨力（见 A. 2. 2 中的示例）；

δ_{IR} ——测量系统（0.0001mm）显示装置的分辨力；

u_{ms} ——压痕测量系统（矩形分布）引入的测量标准不确定度分量， $\left(\frac{0.00035}{2\sqrt{3}} = 0.000102\text{mm}\right)$ 。

硬度计间接测量的不确定度 u_{HTM} 按照公式 (A. 13) 计算，如表 A. 8 所示。

表A. 7 间接检验的结果

次序	压痕的测量值 d mm	计算的硬度值 H HV30 ^a
1	0.371 6 _{min}	402.9 _{max}
2	0.372 4	401.1
3	0.372 8 _{max}	400.3 _{min}
4	0.371 9	402.2
5	0.372 2	401.5
平均值 \bar{H}	0.372 2	401.6
标准偏差 s_H		0.99

^a HV: 维氏硬度

硬度测量系统误差按照公式 (A. 15) 计算：

$$b = \bar{H} - H_{\text{CRM}} \dots \dots \dots (A. 14)$$

$$b = 401.6 - 400.0 = 1.6 \text{ HV } 30$$

当使用标准硬度块CRM，硬度计的标准不确定度按照公式（A. 16）计算：

$$u_{\text{HCRM}} = \frac{t \cdot s_H}{\sqrt{n}} \dots \dots \dots (A. 15)$$

当 $t=1.14$ ， $n=5$ ， $s_H = 0.99 \text{ HV } 30$

$$u_{\text{HCRM}} = 0.51 \text{ HV } 30。$$

A. 4 测量不确定度的评定

每个分量对合成不确定度的贡献见表A. 8，包含测量确定度的硬度计最大相对误差见表A. 9。

表A. 8 测量不确定度的评定

分量 X_p	估算值 x_p	标准测量不确定度 $u(x_p)$	分布类型	灵敏系数 c_p	不确定度的贡献 $u_p(H)$ HV 30
u_{CRM}	400HV ^b	2.50 HV30	正态	1.0	2.50
$u_{\text{H CRM}}$	0 HV	0.51 HV30	正态	1.0	0.51
u_{ms}	0 mm	0.000 102mm	矩形	-2 145.1 ^a	-0.22
$u_{\text{CRM-D}}$	0 HV	0 HV30	三角	1.0	0
合成测量不确定度： u_{HTM}					2.57
扩展测量不确定度： $U_{\text{HTM}}(k=2)$					5.14
^a 灵敏系数 $c = \frac{\partial H}{\partial d} = -2\left(\frac{H}{d}\right)$ $H=400\text{HV}30$ $d \approx 0.3729\text{mm}$					
^b HV: 维氏硬度。					

包含测量不确定度的硬度计的最大误差按照公式（A. 17）计算，结果见表A. 9。

$$\Delta H_{\text{HTMmax}} = U_{\text{HTM}} + |b| = 5.1\text{HV}30 + 1.6\text{HV}30 = 6.8\text{HV}30 \dots \dots \dots (A. 16)$$

表A. 9 包括测量不确定度的硬度计的最大误差

硬度计测量的硬度平均值 \bar{H}	扩展测量不确定度 U_{HTM}	用标准硬度块校准时硬度计的误差 $ b $	包括测量不确定度的硬度计的最大误差 ΔH_{HTMmax}
401.6 HV 30	5.14 HV 30	1.62 HV 30	6.76 HV 30

包含测量不确定度的硬度计的相对误差按照公式（A. 18）计算：

$$\frac{\Delta H_{HTMmax}}{\bar{H}} = \frac{6.8}{401.6} = 1.7\% \dots\dots\dots (A. 17)$$

参 考 文 献

[1] SAWLA A. Uncertainty of measurement in the verification and calibration of the force measuring systems of testing machines, Proceedings of the Asia-Pacific symposium on measurement of force, mass and torque (APMF), Tsukuba, Japan, November 2000

[2] WEHRSTEDT A., & PATKOVŠZKY I. News in the field of standardization about verification and calibration of materials testing machines, May 2001 EMPA Academy 2001

[3] GABAUER W. Manual 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

[4] POLZIN T., & SCHWENK D. Method for Uncertainty Determination of Hardness Testing ; PC File for Determination, Materialprüfung 44(2002)3, pp. 64-71

