



中华人民共和国国家标准

GB/T 34205—2017

金属材料 硬度试验 超声接触阻抗法

Metallic materials—Hardness testing—Ultrasonic contact impedance method

2017-09-07 发布

2018-06-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

前 言

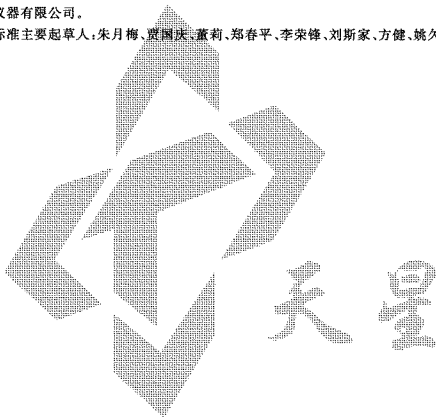
本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国钢铁工业协会提出。

本标准由全国钢标准化技术委员会(SAC/TC 183)归口。

本标准起草单位：上海电气电站设备有限公司上海汽轮机厂、冶金工业信息标准研究院、东莞市中旺精密仪器有限公司。

本标准主要起草人：朱月梅、贾国庆、董莉、郑春平、李荣锋、刘斯家、方健、姚久红。



金属材料 硬度试验 超声接触阻抗法

1 范围

本标准规定了金属材料超声接触阻抗法硬度试验的术语和定义、原理、符号及说明、试验设备、试样、试验程序、结果的不确定度、试验报告。

本标准适用于金属材料超声接触阻抗法硬度试验,也适用于金属涂层、镀层及硬化层的超声接触阻抗法硬度试验。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 4340.2 金属材料 维氏硬度试验 第2部分:硬度计的检验与校准

GB/T 4340.3—2012 金属材料 维氏硬度试验 第3部分:标准硬度块的标定

GB/T 10623 金属材料 力学性能试验术语

JB/T 9377—2010 超声硬度计 技术条件

JJF 1436 超声硬度计校准规范

3 术语和定义

GB/T 10623 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

超声接触阻抗 ultrasonic contact impedance; UCI

超声频率振动压头压入金属材料试样表面时,由于压痕处接触面积的不同引起振动杆谐振频率的变化。

3.2

有效弹性模量 effective elastic modulus

超声硬度计测试过程中测试系统的弹性模量。

注:测试系统包括振动杆、压头和试样。

4 原理

超声接触阻抗法是一种非直接测量压痕的动态压入法。端部镶有特定压头(如正四棱锥体金刚石压头)的振动杆受到激励做纵向超声振动,用一定的试验力将压头压入试验表面,振动杆的纵向振动将受到阻抗,谐振频率发生变化。其变化量与压痕表面积和系统的有效弹性模量成函数关系,硬度值由频率变化量得到。

5 符号及说明

5.1 本标准所使用的符号及说明见表1。

表1 符号及说明

符号	说明	单位
A	压痕表面积	mm^2
E_{eff}	有效弹性模量	N/mm^2
F	试验力	N
h	压痕深度	mm
HV(UCI)	按UCI方法得到的维氏硬度	—
t	涂(镀)层和表面硬化层等的厚度	mm
Δf	频率变化量	Hz

5.2 换算的维氏硬度值表示方法如示例。

示例：

240 HV10 (UCI)

按UCI方法得到的硬度

维氏标尺 98N

硬度值

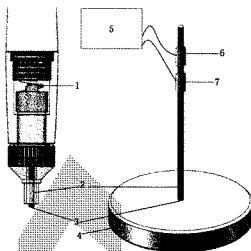
6 试验设备

6.1 超声硬度计

6.1.1 超声硬度计(以下简称硬度计)是利用超声接触阻抗法进行硬度测量的仪器,应符合JB/T 9377—2010中除3.2试验力之外的规定。

6.1.2 硬度计的试验力应在1 N~98 N范围内,试验力允许偏差为±8%,重复性不大于3%。

6.1.3 硬度计通常包括5个部分:探头(见图1)、激振装置、振动检测装置、数据处理电路和硬度指示装置。



说明:

- 1——施加试验力的金属弹簧;
- 2——振动杆;
- 3——压头;
- 4——试样;
- 5——共振增强器;
- 6——接收器;
- 7——发射器。

图 1 UCI 探头工作示意图

6.2 探头

主要由一个产生纵向振动的振动杆、压头和试验力加载装置等组成。

6.3 压头

压头采用金刚石正四棱锥体,并符合 JB/T 9377—2010 中 3.3 的规定。

6.4 检验和校准

6.4.1 硬度计应按照 JJF 1436 的相关规定进行校准。

6.4.2 硬度计应按照 JB/T 9377—2010 的相关规定进行直接检验。

6.4.3 硬度计的间接检验应按照附录 A 的规定进行。

注:附录 B 给出了使用者对硬度计进行日常检查的方法。

6.5 标准硬度块

6.5.1 使用的标准硬度块应符合 GB/T 4340.3—2012 中除 3.3 厚度要求外的规定。

6.5.2 为了避免超声波传感器在标准硬度块引起的干扰振动,标准硬度块的厚度应不小于 16 mm、直径应不小于 80 mm。

6.5.3 标准硬度块在标定时,应在标准硬度块侧面标注其标定时的厚度(精确到 0.01 mm)、质量(精确到 1 g)或在其试验面上作出鉴别标记。

6.6 硬度计的参数标定

6.6.1 使用校准用台式硬度计在与试样相同材料的参考硬度块上测量至少 5 点,计算 5 点硬度值的平均值作为硬度计的标定值。

6.6.2 用硬度计在同一参考硬度块测量至少 5 点,将硬度计显示的平均值调整到 6.6.1 得出的标定值,得到校准参数。

6.6.3 对硬度计参数标定后就可以使用硬度计在相同的硬度标尺和范围内对相同金属材料进行硬度试验。

6.6.4 对于不同金属材料,一些硬度计允许存储所有的校准数据和调整参数,需要时可调用。

注:通常,硬度计的参数由制造商使用非合金钢和低合金钢的标准硬度块进行校准。当对与非合金钢和低合金钢弹性模量不同的金属材料试件进行试验时,需要针对硬度计的参数进行标定。

7 试样

7.1 试验表面可以是平面、曲面。只要探头可达且压头能够垂直压入试验表面。

注 1:试样指通常意义上的试样和试件。试件包括金属产品或金属产品的一部分,如锻件、管材、镀层等。

注 2:当试验表面是曲面时,建议采用合适的支承座。

7.2 试验表面应平坦光滑,试验表面粗糙度应不超过压痕深度的 30%。最大允许的表面粗糙度 R_a 见表 2。压痕深度、试验力和硬度的关系见式(1)。

注:试样的表面粗糙度与试验结果可能产生影响。

$$h = 0.062 \times \sqrt{\frac{F}{HV}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

h ——压痕深度,单位为毫米(mm);

F ——试验力,单位为牛顿(N);

HV——UCI 维氏硬度值。

表 2 最大允许的表面粗糙度 R_a

试验力 ^a /N	最大允许的表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$
98	15
50	10
10	5
3	2.5

^a 1 N, 8 N, 20 N 可参照其他试验力的要求,由相关方协商确定。

7.3 试验表面上应无氧化皮及外来污物,尤其不应有油脂。

7.4 加工试验表面时,应使对试验表面或试验表面性能产生影响的过热或冷加工等因素减至最小。

7.5 试样厚度一般不小于 5 mm 且质量不小于 300 g。对于厚度 2 mm~5 mm 的试样建议用耦合或粘接方式,涂(镀)层和表面硬化层等的厚度 t 不应小于压痕深度的 10 倍。

注:当试样试验部位厚度过薄时,可能会引起试样发生共振或干扰振动;当试样质量小于 300 g 时,如果试样发生自振,对试验结果有影响。

7.6 对于几何尺寸特殊的试样,例如管材,允许在测量时使用附加支撑,所要求的最小厚度和最小质量也允许小于上述给定值。最小可检验的弯管半径约 3 mm。

注:对于小于最小质量要求的小试样,也可采用镶嵌方式进行检验。

8 试验程序

8.1 试验一般在 10℃~35℃ 的温度下进行,不在该温度范围内进行的试验应在试验报告中注明。

注:试验温度可能对硬度试验结果有影响。

8.2 试验前,应使用与试样材料相同的参考硬度块检查硬度计的显示值是否为标定值。

8.3 试样应稳固放置以保证试验过程中试样不产生位移。否则,应采用适当方式对试样进行固定或刚性支撑。支撑面应清洁且无其他污物(如氧化皮、油脂、灰尘等)。

8.4 探头应垂直于试验表面,探头轴线方向与试验平面或过试验点的切线方向的倾斜角度不应大于 5°。

8.5 根据试验对象选择合适的探头,使用的试验力取决于试样的硬度、表面粗糙度及涂(镀)层、表面硬化层的厚度等因素。试验力的典型应用参见附录 C。

8.6 使探头与试样试验表面接触,根据硬度计的加载方式施加试验力进行测量。

8.7 在加力过程中,探头不应产生滑动、转动和晃动,加力应平稳持续,在整个试验期间,应避免试样和探头受到冲击和振动。

8.8 试样的硬度值应取不少于 3 个测量值的算术平均值确定,有特殊要求的情况由相关方协商确定。

注:一些硬度计可能采用去掉测量的最高值和最低值,此时推荐至少压痕数目不少于 5 个压痕。

8.9 任一压痕中心到试样边缘距离应大于 5 mm。压痕有特殊要求的情况由相关方协商确定。对于镶嵌式试样,压痕中心到试样边缘距离可以小于 5 mm。

8.10 对钢、铜和铜合金的材料,两个相邻压痕中心距离应大于 1 mm,对铅、锡和锡合金等软金属应大于 3 mm。

8.11 通常,硬度计的测量和显示系统采集频率变化量,并转换成维氏硬度值,超声接触阻抗法谐振频率变化量与硬度关系及转换参见附录 D。

9 结果的不确定度

9.1 结果的测量不确定度与下列两种因素有关:

——硬度计(包括在硬度计直接校准时的测量不确定度)以及标准硬度块的校准;

——试验操作和试验条件。

9.2 测量不确定度的完整评估应根据 ISO 关于测量不确定度表示的导则(GUM)来执行;也可使用 JJF 1436 的试验条件对应的硬度计的极限偏差作为扩展测量不确定度(置信概率 95%)的近似值;也可参照附录 E 进行测量硬度值不确定度的评估。

10 试验报告

试验报告应包括下列内容:

- a) 本标准编号;
- b) 与试样有关的详细描述;
- c) 硬度计、探头的型号规格;

- d) 试验结果;
- e) 本标准中未规定的重要试验细节,如连接类型、试样的试验位置等;
- f) 使用的标准硬度块或参考硬度块;
- g) 影响试验结果的各个细节,如果试验温度不在 8.1 规定范围时,应注明环境和试验温度;
- h) 需要时提供硬度值的测量不确定度。

注:尚无精确的评定方法将超声接触阻抗法测量的硬度换算成其他硬度和抗拉强度。因此应避免这种换算,除非通过对比试验建立换算基础。

附录 A
(规范性附录)
超声硬度计的间接检验

A.1 通用要求

在对硬度计进行间接检验前,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,并要做以下特别检查:

- a) 仪器电量应确保在 50% 以上;
- b) 硬度计探头底部压头应完整、无松动;
- c) 硬度计探头可以被主机正确识别,加载时能正确读。

A.2 间接检验

A.2.1 间接检验宜在 $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ 温度范围内进行,使用符合 6.5 规定的标准硬度块进行。如果在此温度范围以外进行检验,应在检验报告中注明。

A.2.2 应在每一个所使用的试验力下对硬度计进行检验。当硬度计仅配备一个试验力的探头时,应从以下规定的不同硬度范围中按硬度值高、中、低的原则,至少使用 3 块标准硬度块进行检验:

- $\leq 250 \text{ HV}$;
- $400 \text{ HV} \sim 600 \text{ HV}$;
- $> 700 \text{ HV}$ 。

A.2.3 对于特殊情况,硬度计可以仅在一个标准块上进行检验,硬度块的选择应使其硬度值应尽可能接近待测试样的硬度值。

A.2.4 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 ,以从小到大递增的次序排列,并按式(A.1)计算其算术平均值:

$$\bar{H} = \frac{H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5}{5} \quad \text{..... (A.1)}$$

A.2.5 在规定的检验条件下,硬度计的重复性 r 按式(A.2)计算:

$$r = H_5 - H_1 \quad \text{..... (A.2)}$$

A.2.6 以百分比表示的相对重复性 r_{rel} 按式(A.3)计算:

$$r_{rel} = \frac{H_5 - H_1}{\bar{H}} \times 100\% \quad \text{..... (A.3)}$$

A.2.7 所检验的硬度计的相对重复性应符合表 A.1 的规定。

表 A.1 硬度计相对重复性的最大允许值

标准块的硬度	硬度计相对重复性的最大允许值 $r_{rel}/\%$					
	HV10	HV5	HV1	HV0.8	HV0.3	HV0.1
$\leq 250 \text{ HV}$	5	5	8	8	8	8
$> 250 \text{ HV}$	5	5	6	6	6	6

A.2.8 在规定的检验条件下,硬度计的误差 E 按式(A.4)计算:

$$E = \bar{H} - H_c \quad \text{.....(A.4)}$$

式中:硬度值的算术平均值 \bar{H} 按式(A.5)计算:

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

H_1, H_2, H_3, H_4, H_5 ——对应 A.2.4 的硬度值;

H_c ——所用标准硬度块标定的硬度值。

A.2.9 相对误差 E_{rel} 按式(A.6)计算:

$$E_{rel} = \frac{\bar{H} - H_c}{H_c} \times 100\% \quad \text{.....(A.6)}$$

A.2.10 以标准块标定硬度值的百分比表示的硬度计的最大允许相对误差 E_{rel} 应符合表 A.2 的规定。

表 A.2 硬度计的最大允许相对误差

标准块的硬度	硬度计的最大允许相对误差 $E_{rel}/\%$					
	HV10	HV5	HV1	HV0.8	HV0.3	HV0.1
≤ 250 HV	4	4	4	4	5	5
250 HV~500 HV	4	4	4	4	6	6
> 500 HV~800 HV	4	4	5	5	7	7
> 800 HV	4	4	6	6	8	8

A.3 检验周期

应在直接检验后进行间接检验,间接检验的周期不超过 12 个月。

附录 B

(资料性附录)

使用者对硬度计的日常检查

B.1 使用者应在当天使用硬度计之前对其使用的硬度范围进行检查。

B.2 日常检查应在按照 6.5 规定的标准硬度块上至少打 3 个压痕。如果硬度计显示的平均值与标准硬度块标称值之差不大于表 B.1 的规定值,则硬度计被认为是满意的。如果大于表 B.1 的规定值,应立即进行间接检验。

表 B.1 极限偏差

硬度标尺	极限偏差/%			
	<250 HV	250 HV~<500 HV	500 HV~800 HV	>800 HV
HV0.1(UCD)	6	7	8	9
HV0.3(UCD)	6	7	8	9
HV0.8(UCD)	5	5	6	7
HV1(UCD)	5	5	6	7
HV5(UCD)	5	5	5	5
HV10(UCD)	5	5	5	5

B.3 所测数据应保存一段时间,以便能监测硬度计的再现性和稳定性。

附录 C

(资料性附录)

试验力的典型应用示例

UCI 方法与试验力关系的典型使用情况见表 C.1。

表 C.1 UCI 方法与试验力关系的典型使用情况

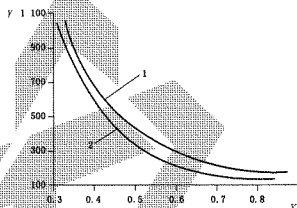
试验力	典型使用情况
98 N	锻件、焊缝及热影响区
50 N	机床零部件的感应淬硬层、渗碳层,如:凸轮轴、轴平、焊缝及热影响区
20 N	法兰盘、齿轮、冲压件、模具、曲轴、涡轮转子等
10 N	冲压模具的离子氮化层、镀锌
8 N	精密件、减速器和轴承转动环
3 N	涂(镀)层,如气缸的铜和铬涂(镀)层($t \geq 0.040 \text{ mm}$),液压缸的涂层、淬硬层($t \geq 0.020 \text{ mm}$)
1 N	薄层、抛光表面

附 录 D
(资料性附录)

超声接触阻抗法谐振频率变化量与硬度关系及转换

D.1 频率变化量与硬度的关系

D.1.1 对于超声接触阻抗法硬度试验,带有压头的振动杆谐振频率变化量和试件硬度值之间的关系见图 D.1。



说明:

X —— UCI 谐振频率变化量;

Y —— 超声接触阻抗法测量的硬度值;

1 —— 材料 1 的 UCI 谐振频率变化量与硬度值的关系曲线;

2 —— 材料 2 的 UCI 谐振频率变化量与硬度值的关系曲线。

注: 其中的材料 1 和材料 2 指弹性模量不同的两种材料。

图 D.1 UCI 频率变化量与硬度的关系示例

D.1.2 探头的频率变化量取决于其有效的弹性模量和试件与金刚石棱锥体压头的接触表面积,按式 (D.1) 计算。

$$\Delta f = f(E_{\text{eff}}, A, F) \quad \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

Δf —— 频率变化量,单位为兆赫(MHz);

f —— 函数符号;

E_{eff} —— 有效弹性模量,单位为兆帕(MPa);

A —— 压痕表面积,单位为平方毫米(mm²);

F —— 试验力,单位为牛顿(N)。

$$A = f(E_{\text{eff}}, \Delta f, F) \quad \dots\dots\dots (D.2)$$

D.1.3 维氏硬度的计算按式 (D.3);

$$HV = C \times F/A \quad \dots\dots\dots (D.3)$$

式中:

HV —— 维氏硬度;

C —— 常数;

F ——试验力,单位为牛顿(N);

A ——压痕表面积,单位为平方毫米(mm²)。

D.1.4 由式(D.2)带入式(D.3)得出式(D.4)。

$$HV = C \times F / f(E_{eff}, \Delta f, F) \quad \text{.....(D.4)}$$

D.1.5 由式(D.4)可知,确定 UCI 想得出硬度值需要 3 个变量,即试验力、有效弹性模量和频率变化量。

D.2 由频率变化量转换为 UCI 硬度的描述

D.2.1 超声硬度计可配备不同型号的探头,每一型号探头的试验力是固定的。超声接触阻抗法硬度试验方法是通过事先使用标准台式试验机对一种材料的样块进行标定,得出标定值,然后使用超声硬度计在标定的样块试验,得出 UCI 硬度值,然后根据标定值对超声硬度计进行标定,得出 UCI 硬度的校准参数。

如:样块的 UCI 硬度值记为 HV_i ,则由式(D.4)得出式(D.5):

$$HV_i = C \times F / f(E_{eff}, \Delta f_i, F) \quad \text{.....(D.5)}$$

将 HV_i 调整为标定值 HV_{VER} ,则得出 HV_{VER} 和 Δf_i 的对应关系式(D.6)。

$$\text{令: } HV_{VER} = C \times F / f(E_{eff}, \Delta f_i, F) \quad \text{.....(D.6)}$$

超声硬度计标定后,即可对同种材料进行硬度试验。

如:对同种材料,硬度与样块不同的试件或试样进行硬度试验时,由式(D.4)得知:

$$HV_{PART} = C \times F / f(E_{eff}, \Delta f_{PART}, F) \quad \text{.....(D.7)}$$

由式(D.6)和式(D.7)得出:

$$HV_{PART} / HV_{VER} = C \times F / f(E_{eff}, \Delta f_{PART}, F) / C \times F / f(E_{eff}, \Delta f_i, F)$$

$$HV_{PART} = HV_{VER} \times [f(E_{eff}, \Delta f_i, F) / f(E_{eff}, \Delta f_{PART}, F)]$$

即式(D.8):

$$HV_{PART} = HV_{VER} \times \Phi(\Delta f_i / \Delta f_{PART}) \quad \text{.....(D.8)}$$

式中:

Φ ——函数符号。

D.2.2 因为式(D.8)中的 HV_{VER} 和 Δf_i 为已知量,对于探头和同一材料其有效弹性模量 E_{eff} 是相同的,因此,只要测量出 Δf_{PART} 就可以通过超声硬度计数据处理单元得出被测试件的硬度值,即式(D.9)。

$$HV(UCI) = f(1/\Delta f) \quad \text{.....(D.9)}$$

D.2.3 超声硬度计是通过已知硬度值的某种材料的标定样块来确定该种材料的弹性模量,调整超声硬度计参数后,就可在以后对该种材料进行硬度试验。

D.2.4 对于弹性模量不同的材料或硬度计内置材料选项中不同的材料进行硬度试验,应事先通过这种材料标定的样块对硬度计进行标定。

附录 E
(资料性附录)
硬度值测量的不确定度

E.1 通用要求

E.1.1 本附录定义的不确定度只考虑硬度计与标准硬度块(CRM)相关测量的不确定度。这些不确定度反映了所有分量不确定度的组合影响(同接检验)。由于本方法要求硬度计的各个独立部件均在其允许偏差范围内正常工作,故强烈建议在硬度计通过直接检定一年内采用本方法计算。

E.1.2 图 E.1 显示用于定义和区分各硬度标尺的四级计量溯源链的结构图。溯源链起始于用于定义国际比对的各硬度标尺的国际基准。一定数量的国际标准——基础标准硬度计“定值”校准实验室用基础参考硬度块。当然,基础标准硬度计应当在尽可能高的准确度下进行直接标定和校准。

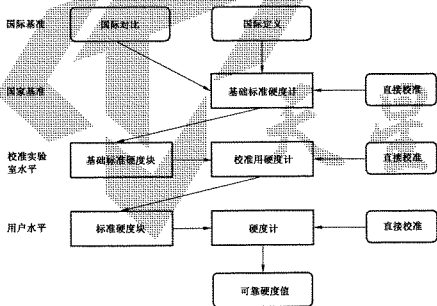


图 E.1 硬度标尺的定义和量值传递图

E.2 硬度检测的测量不确定度

E.2.1 概述

E.2.1.1 方法 1(缩写为 M1)是一种考虑所使用的硬度计最大允许误差的简化方法。

在 M1 中,极限偏差,即范围允许在硬度检验仪参考标准的偏差内,以便定义安全源 U_g 。不会发生针对这些偏差的硬度值修改。在表 E.1 解释了求出 U 的方法。

表 E.1 按方法 M1 的扩大不确定度的确定

步骤	不确定度来源	符号	公式	文献/证书	举例[...]=HV1(UCD)
1 M1	根据极限偏差的标准不确定度	u_E	$u_E = \frac{u_{E,1} + \bar{X}_{CRM}}{2.8}$	校核偏差 $u_{E,1} = \bar{X}_{CRM}$ ，取自校正产品，见注 1	$u_E = \frac{0.06 \times 554}{2.8} = 11.87$
2 M1	标准不确定度和 CRM 硬度的平均值	u_{CRM} \bar{X}_{CRM}	$u_{CRM} = \frac{U_{CRM}}{2}$	$u_{CRM} = \bar{X}_{CRM}$ 取自 CRM 的校正产品，见注 2	$u_{CRM} = \frac{8}{2} = 4$ $\bar{X}_{CRM} = 553.81$
3 M1	平均值和用 CRM 测量时的标准偏差	\bar{H} S_H	$\bar{H} = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{n}$ $S_H = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H})^2}$	单个测量： 556, 550, 557, 554, 559 $H = 555.2$ $S_H = 3.4$	
4 M1	用 CRM 测量时硬度计的标准不确定度	u_H	$u_H = \frac{t \cdot S_H}{\sqrt{n}}$	$t = 1.14$ 对 $n = 5$	$u_H = \frac{1.14 \times 3.4}{\sqrt{5}} = 1.73$
5 M1	试样测量时的平均值和标准偏差	\bar{x} S_x	$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$ $S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$	$n = 5$ 试样的测量 当 $n = 1, S_x = 0$ 检验报告应包含指示测量不确定度只和该测量值标记有关，而与试样无关	单个值： $530, 525, 537, 528, 532$ $\bar{x} = 530.4$ $S_H = 4.5$
6 M1	试样测量时的标准不确定度	u_x	$u_x = \frac{t \cdot S_x}{\sqrt{n}}$	$t = 1.14$ 对 $n = 5$	$u_x = \frac{1.14 \times 4.5}{\sqrt{5}} = 2.29$
7 M1	根据硬度值指示求解时的标准不确定度	u_{res}	$u_{\text{res}} = \frac{\hat{\sigma}_{\text{res}}}{2\sqrt{3}}$	$\hat{\sigma}_{\text{res}} = 5$ HV1(UCD)	$u_{\text{res}} = \frac{5}{2 \cdot \sqrt{3}} = 1.44$
8 M1	扩大不确定度的确定	U	$U = k \sqrt{u_E^2 + u_{CRM}^2 + u_H^2 + u_x^2 + u_{\text{res}}^2}$	步骤 1~7 $K = 2$	$U = 2 \sqrt{11.87^2 + 4^2 + 1.73^2 + 2.29^2 + 1.44^2}$ $U = 25.9$ HV1(UCD)
9 M1	测量结果	\bar{X}	$\bar{X} = \bar{x} \pm U$	步骤 5 和步骤 8	$\bar{X} = 530.4 \pm 25.9$ HV1(UCD)

注 1：系数 2.8 是在确定矩形分布的标准不确定度时导出。

注 2：必要时需考虑 CRM 的硬度变化。

$$U = K \sqrt{u_E^2 + u_{CRM}^2 + u_H^2 + u_{\bar{X}}^2 + u_{ms}^2} \quad \text{..... (E.1)}$$

通过式(E.2)得出测量结果

$$\bar{X} = \bar{x} \pm U \quad \text{..... (E.2)}$$

注：使用 M1，使硬度检测仪与相应硬度试验标准保持一致。

在描述测量结果时，应说明所使用的方法。在一般情况下，对测量结果应使用方法 1[式(E.2)]。

E.2.1.2 方法 2(缩写 M2)是与 M1 等值的方法，汇总了硬度计测量不确定度的尺寸 u_{CRM} 、 u_H 和 u_{ms} 。硬度计的 u_{UTH} 由校准证书给出。

硬度检验的测量不确定度可从式(E.3)得出：

$$U = 2 \sqrt{u_E^2 + u_{\bar{X}}^2 + u_{HTM}^2} \quad \text{..... (E.3)}$$

式中：

u_{HTM} —— 硬度计的不确定度；

$u_{\bar{X}}$ —— 根据试样上硬度分配不均匀性的标准不确定度，探头不均匀性确定见表 E.2，并按式(E.4)计算；

u_E —— 根据硬度检测仪的极限偏差的不确定度；

表 E.2 探头的不均匀性的确定

编号	测量硬度值 HV1(UCD)
1	530
2	525 _{min}
3	537 _{max}
4	528
5	532
中间值 \bar{H}	530.4
标准偏差 S_x	4.5

$$u_{\bar{X}} = \frac{t \times S_x}{\sqrt{n}} \quad \text{..... (E.4)}$$

代入 $t = 1.14$ 和 $n = 5$ 可得出：

$$u_{\bar{X}} = 2.29 \text{ HV1(UCD)}$$

用此值：

u_{HTM} 4.59 HV1(UCD) 从硬度计的标定得出。

$u_{\bar{X}}$ 2.29 HV1(UCD)

u_E 11.87 HV1(UCD)

得出硬度检验的扩展不确定度：

$$U = 25.9 \text{ HV1 (UCD)}$$

测量结果可解释为：

$$\bar{X} = (530.4 \pm 25.9) \text{ HV1(UCD)}$$