



# ASTM E384 - 11<sup>e1</sup>

材料的努氏和维氏硬度标准试验方法

(中文版)

Standard Test Method for Knoop and

Vickers Hardness of Materials

美国材料与试验协会

2011

## 目 录

1. 适用范围 .....	1
2. 引用标准 .....	1
3. 术语 .....	2
4. 重要性和使用意义 .....	3
5. 试验原理 .....	4
6. 仪器 .....	5
7. 试样 .....	6
8. 程序 .....	7
9. 试验报告 .....	12
10. 精度和偏差 .....	12
11. 与其他硬度单位或抗拉强度值的换算 .....	18
12. 关键词 .....	18
附录（强制性信息） .....	24
附录（非强制性信息） .....	33
参考文献 .....	52



# 材料的努氏和维氏硬度标准试验方法<sup>①</sup>

本标准是以固定代号 E384 发布的。其后的数字表示原文本正式通过的年号；在有修订的情况下，为上一次的修订年号；圆括号中数字为上一次重新确认的年号。上标符号 (e) 表示对上次修改或重新确定的版本有编辑上的修改。

本标准已经美国国防部认可采用。

e1 注：8.3 和 A1.1.4 已经于 2012 年 3 月重新修订过。

## 1. 适用范围\*

1.1 本标准包括了材料的努氏和维氏硬度测定方法，努氏硬度和维氏硬度试验机的检验以及标准努氏和维氏硬度试块的校准。

1.2 本试验方法包括了在极小试验力范围 ( $9.8 \times 10^{-3} \sim 9.807\text{N}$ ) ( $1 \sim 1000 \text{ gf}$ ) 和极大试验力范围 ( $> 9.807 \sim 1176.80\text{N}$ ) ( $> 1 \text{ kg} \sim 120 \text{ kgf}$ ) 下执行的努氏和维氏硬度试验。

注1：本标准先前版本限定标准试验力为  $9.807\text{N}$  ( $1 \text{ kgf}$ )。

1.3 本试验方法包括了试验方法 E92 (维氏硬度试验方法) 先前定义的所有宏观维氏硬度试验要求。

1.4 本试验方法包括了对在努氏和维氏试验过程中产生的误差可能来源的原因分析，同时包含这些因素对试验结果的精度、重复性和再现性的影响。

注2：尽管 E04 技术委员会主要关注金属材料，然而，所述的试验方法也适用于其他材料。

1.5 单位— 努氏和维氏硬度开始提出这个概念之时，力值水平采用克-力 (gf) 或千克-力 (kgf) 作为单位。尽管本标准规定力值采用 SI 国际体系单位，即力值以牛顿 (N) 为单位，长度以 mm 或  $\mu\text{m}$  为单位。但由于历史沿革和方便继续使用 (gf) 或 (kgf) 单位等原因，本标准还采用 (gf) 或 (kgf) 单位表示的数值作为参考信息，同时本标准的多数讨论 (包括试验结果的报告) 所涉及的力值单位均采用这些单位。

1.6 本标准并没有完全列举所有的安全声明。如果有必要，根据实际使用情况进行斟酌。使用本规范前，使用者有责任制定符合安全和健康要求的条件和规范，并同时明确该规范的使用范围。

## 2. 引用标准

### 2.1 ASTM 标准：<sup>②</sup>

C1326 高级陶瓷的努氏压痕硬度的标准试验方法

C1327 高级陶瓷的维氏压痕硬度的标准试验方法

E3 金相试样的制备

E7 金相学相关的术语

E29 试验数据采用有效数字确定符合规范的标准方法

E74 对用于验证试验机力值指示的测力仪进行校准的校准方法

E92 金属材料维氏硬度试验方法<sup>③</sup>

<sup>①</sup> 该试验方法由 ASTM 金相学 E04 委员会所管辖，并由微观压痕硬度试验 E04.05 分委员会直接负责。在本版本中，扩展了本试验方法以包括 E28.92 《金属材料维氏硬度标准试验方法》(该标准由 E28.06 委员会直接管辖) 先前规定的要求。

现版本 2011 年 8 月 1 日批准，2011 年 8 月出版。最早出版的为 1969 年批准，前一版本于 2010 年批准其为 E384-10<sup>e2</sup>。DOI: 10.1520/E0384-11。

<sup>②</sup> 对于参照的 ASTM 标准，请查看 ASTM 网站 [www.astm.org](http://www.astm.org)，或联系 ASTM 客户中心，邮件：[service@astm.org](mailto:service@astm.org)。对于 ASTM 标准卷册的信息，参看 ASTM 网站的标准文件摘录页。

\*变更一览表参见标准的结尾处

- E122 在规定允许误差范围内估算一个批量或过程的性能平均值用试样尺寸的计算规程
- E140 金属布氏硬度、维氏硬度、洛氏硬度、表面硬度和肖氏硬度之间的换算表
- E175 显微镜用术语
- E177 ASTM试验方法的精度和偏差术语使用规程
- E691 实验室内部研究确定某一试验方法的精度的标准方法
- E766 扫描电子显微镜的放大倍数的校准规程

## 2.2 ISO标准：<sup>④</sup>

- ISO 6507-1 金属硬度—维氏硬度试验第1部分：试验方法
- ISO/IEC 17011 一致性评估—一致性评定授权机构的通用要求
- ISO/IEC 17025 实验室试验和校准执行通用要求

## 3. 术语

3.1 定义—本标准中使用的术语定义请参照术语 E7。

3.2 针对本标准使用的术语名词：

3.2.1 校准，动词：通过对比仲裁仪器或一套仲裁试块测试值来确定重要参数的值。

3.2.2 努氏硬度值，HK，名词：施加在努氏压头上的试验力除以压头所压的永久性压痕面积所得商表示硬度值。

3.2.3 努氏压头，名词：压头为具有菱形基面的金刚石棱锥体，棱边顶角为 $\angle A=172^\circ 30'$ 和 $\angle B=130^\circ 0'$ (见图2)。

3.2.4 微压痕硬度试验，名词：使用校准的试验机将规定特殊几何形状的金刚石压头压入受试材料表面的硬度试验方法，过程中试验力范围为 $9.807 \times 10^{-3}$ 到 $9.807\text{N}$  (1 到 1000 gf)，卸除试验力后使用光学显微镜测量压痕对角线；对于任何的微压痕试验，人们都会假设在试验力卸除后压痕不会发生弹性回复。试验结果通常为努氏或维氏硬度刻度。

3.2.5 显压痕硬度试验，名词：使用校准的试验机将规定特殊几何形状的压头压入受试材料表面的硬度试验方法，过程中试验力通常高于 $9.807\text{N}$ (1 kgf)。显压痕硬度试验刻度通常包括维氏硬度、洛氏硬度和布氏硬度。

注3：应避免使用术语“微硬度”因为该术语暗示非常低的硬度，而非试验力或压痕大小非常低。

3.2.6 检验，动词：检查或测试仪器来确保符合本标准要求。

3.2.7 维氏硬度值，HV，名词：施加在维氏压头上的试验力除以压头所压的永久性压痕表面积所得商表示的硬度值。

3.2.8 维氏压头，名词：压头为金刚石正四棱锥体，其相对两面之间的顶角为 $136^\circ$ （见图1）。

3.2.9 刻度，名词：压头（努氏或维氏）和试验力的特殊组合值。例如HV10表示使用某一维氏压头和10kgf试验力的刻度值；HK0.1表示使用某一努氏压头和100gf试验力的刻度值。硬度等级和刻度的正确报告见5.8。

3.3 公式：5.5和5.6中出现的用于计算努氏硬度和维氏硬度的公式是基于理想试验机的。材料的努氏硬度和维氏硬度的测量值受各种误差因素的影响。基于等式1-9，试验力的偏差、金刚石压头之间几何形状的差异以及测量对角线长度中的人为错误都能影响计算的材料硬度。这些参数对努氏或维氏测量计算值的影响见第10节所述。

<sup>④</sup> 取消。本历史标准的最后批准版本参阅网站 [www.astm.org](http://www.astm.org)。

<sup>⑤</sup> 可从标准化国际组织(ISO)获得，地址：1, ch. de la Voie-Creuse, Case postale 56, CH-1211, Geneva 20, Switzerland, <http://www.iso.org>。

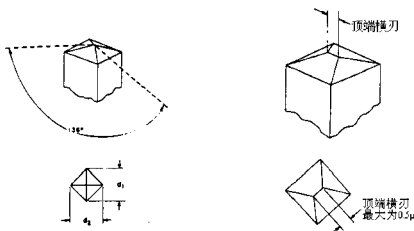


图1 维氏压头

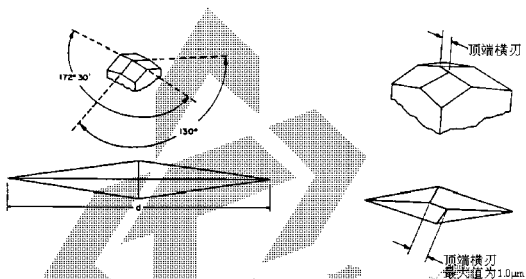


图2 努氏压头

#### 4. 重要性和使用意义

4.1 人们发现硬度试验对材料的评估、生产过程质量控制和研发改进都是十分有用的。硬度，尽管在实际中是完全靠经验判断的，但对于很多金属来说都与抗拉强度有关，而且也是耐磨性和韧性的指标之一。

4.2 微压痕硬度试验可用来测试对于显压痕试验太薄或太小的材料。微压痕硬度试验也可测量对于显压痕试验太小的具体的相或组分以及区域或梯度。

4.3 因为努氏硬度和维氏硬度测试值在一种材料中可能会存在硬度偏差，一个测试值不可能代表整批的硬度。

4.4 维氏压头在所有试验下通常产生几何形状类似的压痕。除了非常低试验力的试验通常形成压痕的对角线长度约小于  $25\mu\text{m}$  之外，只要待测试材料相当均质，硬度值将本质上与维氏设备在大于  $1\text{kgf}$  的试验力下所测得的硬度相同。对于各向同性材料，某一维氏压痕的两条对角线应尺寸相等。低试验力微压痕测试可参阅附录 X5。

4.5 在某一试验力作用下，努氏压头不能生成几何形状类似的压痕。因此，努氏硬度将随着试验力的变化而变化。由于形状为棱形，在同一试验条件下，与某一维氏压痕相比，努氏压痕深度更浅。努氏压痕两条对角线显著不同。理想情况下，长对角线比短对角线大 7.114 倍。

但是该比率受到弹性恢复的影响。因此，努氏压痕对评估剖开样本的硬度分级或薄涂层非常有用。

## 5. 试验原理

5.1 在本试验方法中，努氏硬度或维氏硬度值的测定是基于在待评估样本的试验表面形成相当的压痕。

5.2 使用专门设计的用于此试验目的的试验机，施加精确可控的试验力，将规定几何形状的金刚石努氏或维氏压头压入试样表面。

5.3 努氏或维氏硬度试验分为微和显试验力范围，定义如下：

范围	试验力
微	$9.8 \times 10^{-3} \sim 9.807\text{N}$ (1 ~ 1000 gf)
显	$>9.807 \sim 1176.80\text{N}$ (>1 kg~ 120 kgf)

5.3.1 当维氏刻度为微范围和显范围使用时，通常使用微范围试验力 ( $\leq 1\text{kg}$ ) 来执行努氏刻度试验。

注4：当用先前由于微范围测试的金刚石压头在显范围 ( $>1\text{kg}$ ) 内施加试验力之前，使用者应咨询制造商。金刚石装置可能由于强度不够而不能支撑较高试验力，金刚石也可能因为没有足够大而不能生成较大尺寸的压痕。

5.4 压痕的大小使用装备有数字式测微目镜或其他测量装置的光学显微镜测量（见术语 E 175）。微范围压痕通常用  $\mu\text{m}$ （微米）为单位进行测量，显范围压痕用  $\text{mm}$ （毫米）为单位进行测量。两种单位的公式见以下所述。

5.5 努氏硬度值为试验力除以压痕投影面积所得的商。

5.5.1 对于努氏硬度试验，试验载荷通常用克-力 (gf) 来表示，金刚石压痕用  $\mu\text{m}$ （微米）来表示。努氏硬度值（用 gf 和  $\mu\text{m}$  来表示）按以下公式进行计算：

$$\text{HK} = 1.000 \times 10^{-3} \times (P/A_p) = 1.000 \times 10^{-3} \times (P/c_p \times d^2) \quad (1)$$

或

$$\text{HK} = 14.229 \times P/d^2 \quad (2)$$

$$\text{压头常数} = c_p = \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2 \tan \frac{\beta}{2}} \quad (3)$$

其中：

P=试验力，gf

d=长对角线长度

$A_p$ =压痕投影面积， $\mu\text{m}^2$

$\alpha$ =长度方向棱边之间的顶角， $172^\circ 30'$

$\beta$ =宽度方向棱边之间的顶角， $130^\circ 0'$ （见图2）

$c_p$ =常数，与压痕投影面积和长对角线长度的平方有关，理想值为0.07028。

注5—1gf (9.807  $\times 10^{-3}$  N) 试验力下的 HK 值在附录 X6 中有包括。当想获得使用其他试验力的 HK 值时，用实际的试验力 gf 乘上表 X6.1 中的 HK 值和相应的试验力倍数 d 求出 HK 值。

5.5.2 以  $\text{kgf}/\text{mm}$  表示的努氏硬度，计算公式如下：

$$\text{HK} = 14.229 \times P_1/d_1^2 \quad (4)$$

其中：

$P_1$  = 试验力，kgf；

$d_1$  = 长对角线长度，mm。

5.5.3 用 GPa 单位报告的努氏硬度计算公式如下：

$$HK = 0.014229 \times P_2/d_2^2 \quad (5)$$

式中:

$P_2$  = 试验力, N,

$d_2$  = 压痕长对角线长度, mm。

5.6 维氏硬度值等于试验力除以压痕面积的商值。

5.6.1 对于微范围的维氏硬度试验, 实际上, 试验力通常是用克-力表示并且压痕对角线以微米表示。维氏硬度值 (以gf和 $\mu\text{m}$ 来表示) 计算公式如下:

$$HV = 1.000 \times 10^3 \times P / A_s = 2.000 \times 10^3 \times P \sin(\alpha/2) / d^2 \quad (6)$$

$$HV = 1854.4 \times p/d^2 \quad (7)$$

式中:

$P$  = 试验力, gf

$A_s$  = 压痕表面积,  $\mu\text{m}^2$

$d$  = 压痕对角线长度平均值,  $\mu\text{m}$

$\alpha$  = 压头对向夹角,  $136^\circ 02'$  (见图1)

注6: 1-gf ( $9.807 \times 10^{-3}$  N) 试验力下的 HK 值在附录 X6 中有包括。当想获得使用其他试验力的 HV 值时, 用实际的试验力  $g$  乘上表 X6.2 中的 HK 值和相应的试验力倍数  $d$  求出 HV 值。

5.6.2 以  $\text{kgf}/\text{mm}^2$  表示的显范围维氏硬度典型计算公式如下:

$$HV = 1.8544 \times p_1/d_1^2 \quad (8)$$

式中:

$P_1$  = 试验力, kgf

$d_1$  = 压痕对角线长度平均值, mm

5.6.3 用 GPa 单位报告的维氏硬度计算公式如下:

$$HV = 0.0018544 \times p_2/d_2^2 \quad (9)$$

式中:

$P_2$  = 试验力, N

$d_2$  = 压痕对角线长度平均值, mm

5.7 人们假定压头在保持规定时间后卸除时不会产生弹性回弹, 即人们假定在试验力卸除后, 压痕仍保留压头的形状。在努氏硬度试验中, 人们假定压痕长短对角线与短对角线的比率与压头的相同。

5.8 努氏硬度的 HK 符号和维氏硬度的 HV 符号应与报告的数值一起使用。

5.8.1 在本标准中, 硬度试验结果可采用几种不同的方式来报告。例如, 如果努氏硬度为 400, 试验力为 100gf, 试验结果可按如下进行报告:

5.8.1.1 采用千克力体系: 400 HK 0.1。

5.8.1.2 采用克力体系: 400 HK 100 gf。

5.8.1.3 采用 SI 体系: 3.92 GPa。

5.8.1.4 对于非标准的保持时间, 如果不是 10 到 15 秒时, 硬度将报告为 400 HK 0.1/22。在本例中, 22 应为满负载时的实际时间 (单位为秒)。

5.9 报告的努氏硬度和维氏硬度值报告时应按规程 E29 圆整到三位有效数字 (例如 725HV 0.1, 99.2 HK 1)。

## 6. 仪器

6.1 试验机——试验机必须能支撑试样并且控制压头以预先设定的试验力压入试样, 并且应具有一个光学显微镜来选择想要的测试点以及来测量试验中所产生的压痕尺寸。试样表面

的平面必须与压头轴和施力方向垂直。

**6.1.1 振动控制**——在整个试验期间，试验机应加以保护防止冲击和振动。为了减少振动，试验者应避免在整个试验期间以任何方式接触机器。

**6.2 维氏压头**——理想的维氏压头（见图1）为高度抛光的金刚石正四棱角，其相邻两面之间的顶角为 $136^{\circ} 0'$ 。这些角度的几何差异对维氏硬度测量值的影响在第 10 节中有论述。

**6.2.1 维氏压头的四个面对压头的轴线应当具有相同的倾斜度，并且在一点相交。相对面之间的连接线（顶端横刃）应不超过A1.3.5.1定义的范围。**

**6.3 努氏压头**——理想的努氏压头（见图2）是高度抛光的具有棱形基面的金刚石棱柱体。理想的两个相对棱边之间的顶角为 $172^{\circ} 30'$ 和 $130^{\circ} 0'$ ，理想的压头常数， $cp$ 为 0.07028。这些角度的几何偏差对努氏硬度测量值的影响有在第 10 节中论述。

**6.3.1 努氏压头的四个面对压头的轴线应当具有相同的倾斜度，并且在一点相交。相对面之间的连接线（顶端横刃）应不超过A1.3.5.2定义的范围。**

**6.4 当压痕对角线长度 $\leq 40\mu\text{m}$ 时，试验机的测量设备应报告精确至 $0.5\mu\text{m}$ 之内或者0.5%之内（以较大值为准）的压痕对角线长度。对于对角线长度为小于 $40\mu\text{m}$ 的压痕，试验机的测量设备应报告精确至 $0.25\mu\text{m}$ 的压痕对角线长度。在所有场合，可报告较小的测量值递增，如果设备能够显示较小的测量递增。**

注7：这是报告的长度而非进行测量的仪器分辨率。例如，如果 $200\mu\text{m}$ 的长度相当于300刻度单位或像素，则相应的校准常数将是 $200/300 = 0.6667$ 。该数值将用来计算对角线长度，但报告的长度仅报告精确至最近的 $0.5$ 或 $0.25\mu\text{m}$ 长度。

**6.4.1 测量设备可作为试验机或其余单独设备的完整部分。**

**6.4.2 测量设备的光学部分应具有柯勒照明（见附录 X1）。**

**6.4.3 为了获得最大的分辨率，测量显微镜应具有可调节的照明强度，可调对准装置以及孔径和视场光阑。**

**6.4.4 放大率应能保证对角线放大到视场宽度的25%到75%。设备可通过单次或多次放大目标来执行测量。**

**6.5 校验：执行硬度试验之前，所有努氏硬度和维氏硬度试验所采用的试验机和压头应满足附录A1定义的要求。**

## 7. 试样

**7.1 努氏硬度或维氏硬度试样没有标准形状或尺寸。执行压痕试验的样本应满足以下要求：**

**7.1.1 制备**——为了测量的精度优化，试验应在抛光处理过的或其他适当表面准备的平坦的试样上进行。要求的表面处理质量可随试验中使用的试验力和放大率的大小而变化。试验力越小，压痕也就越小，最重要的是表面准备情况，样本制备应按规程E3的相应章节执行。在所有的试验中，压痕周界和压痕顶端（尤其是）必须在显微镜的视场中清晰界定。

**7.1.1.1 表面必须无任何能影响压痕或后续对角线测量的缺陷。众所周知，不适当的磨光和抛光可改变试验结果，因为由于过热或冷加工引起。有些材料与其他材料相比更易于在表面准备中导致损坏，因此在试样制备过程中必须采取特别的预防措施。试样制备必须移除这些步骤中产生的任何损伤。**

**7.1.1.2 试样表面在压痕操作前不应进行浸蚀。浸蚀会使压痕边缘变的模糊，使压痕大小的精确测量变的困难。然而，当测定分相或组分的微压痕硬度时，轻微的浸蚀可用来确定目标标志。**

**7.1.2 校直**——为获得有用的试验信息，样本的制备或镶嵌方法应使得测试表面垂直于压头轴线。这可通过平行于样本待测试面的反面进行表面磨削（或机加工），以满足上述要求。不平行样本可以通过使用设计的夹紧和对准装置来进行测试，以校正试验表面与压头的相对位



置。

**7.1.3 镶嵌样本**—在某些情况下，为了简化制备过程，有必要镶嵌试样；当将在样本表面进行斜度试验时，也有必要镶嵌试样，以保留某一锐边。当要求镶嵌时，试样必须靠镶嵌剂充分支撑使试样在施力过程中不会移动，即避免使用会在压头试验力下蠕变的聚合物镶嵌剂。

**7.1.4 厚度**—测试的样本应使得没有膨胀或其它标记显示试验力背对压痕出现在试样侧面。试验时材料厚度应至少为压痕深度的10倍。这也可用于指导如何选取某一材料涂层的最小厚度。

**7.1.5 曲面半径**—应非常小心得进行解释或评估球体或圆柱表面得到的试验结果。即使是努氏试验，曲面半径在短对角线方向时，试验结果将会受到影响。当在球面或圆柱表面测试时，表1、表2和表3提供了维氏硬度测试所采用的修正因子。表中用压痕平均对角线长度 $d$ 与球体或圆柱体直径 $D$ 的比率作为修正因子。这些表的使用见示例1和示例2。

示例1	球体直径, $D=10\text{mm}$ , 载荷=10kgf
凸状球体:	平均对角线, $d=0.150\text{mm}$
	$d/D=0.150/10=0.015$
	从表X6.2: $HV=824$
	从表1, 通过内推法, 修正因子=0.983
	球体硬度= $824 \times 0.983=810\text{HV}10$
示例2	圆柱体直径, $D=5\text{mm}$ , 载荷=30kgf
凸状圆柱体:	平均对角线, $d=0.415\text{mm}$
一条对角线平行于轴线:	$d/D=0.415/5=0.083$
	从表X6.2: $HV=323$
	从表3, 修正因子=1.075
	圆柱体硬度= $323 \times 1.075=347\text{HV}30$

注8—球体或圆柱体表面的维氏硬度读取值的修正方法可在国际标准化组织 (ISO) 维氏硬度标准 (ISO 6507-1) 中找到。

## 8. 程序

**8.1 试验温度**—努氏硬度和维氏硬度试验应在10到35℃(50到95℉)范围内的某个温度执行。由于该温度范围变化可能影响结果，使用者可选择控制温度在某个较窄范围之内。

**8.2 压头**—选择需要的努氏或维氏压头，以适合要求的试验刻度用于测量。如有必要更换压头，参照制造厂的说明书。

**8.2.1** 每次更换或移除和替代压头时，建议按A1.5执行每周校验。应至少执行两次预备压痕测量以确保压头正确固定。预备压头的结果应忽略。

**8.2.2** 不定期地用棉拭子和酒精清洗压头。避免在清洗过程中产生静电。常常准备一张纸来除去压头上的油。

**8.2.3** 压头应进行定期检查，如果磨损、变钝、带缺口、破裂或者与装配材料发生分离，应更换压头。使用者可通过肉眼检查生成的压痕来检查压头；检查应充分确定试块上的压痕形状是否存在缺陷。

**8.3 试验力大小**—按制造商说明，选择试验机需要的试验力。

**8.3.1** 每个改变试验力之后，建议通过A1.5定义的每周校验来检查设备的操作。

**8.4 样本装配到试验机**—将试样安放在试样台上或夹持在试样台夹持器内，以便试样表面与压头轴线垂直。

**8.5 定位测试点**—使用低倍物镜对测量用显微镜进行调焦以便能观测到试样表面。调节照明

强度以及调节孔径来获得最好的分辨率和对比度。调节样本位置以便能在试验表面的理想执行压痕测量。在施加力之前，使用测量物镜或最高放大倍数的物镜做最后一次调焦。

表1 球形面上维氏硬度测试采用的修正因子

凸面		凹面	
$d/D^A$	修正因子	$d/D^A$	修正因子
0.004	0.995	0.004	1.005
0.009	0.990	0.008	1.010
0.013	0.985	0.012	1.015
0.018	0.980	0.016	1.020
0.023	0.975	0.020	1.025
0.028	0.970	0.024	1.030
0.033	0.965	0.028	1.035
0.038	0.960	0.031	1.040
0.043	0.955	0.035	1.045
0.049	0.950	0.038	1.050
0.055	0.945	0.041	1.055
0.061	0.940	0.045	1.060
0.067	0.935	0.048	1.065
0.073	0.930	0.051	1.070
0.079	0.925	0.054	1.075
0.086	0.920	0.057	1.080
0.093	0.915	0.060	1.085
0.100	0.910	0.063	1.090
0.107	0.905	0.066	1.095
0.114	0.900	0.069	1.100
0.122	0.895	0.071	1.105
0.130	0.890	0.074	1.110
0.139	0.885	0.077	1.115
0.147	0.880	0.079	1.200
0.156	0.875	0.082	1.125
0.165	0.870	0.084	1.130
0.175	0.865	0.087	1.135
0.185	0.860	0.089	1.140
0.195	0.855	0.091	1.145
0.206	0.850	0.094	1.150

<sup>A</sup>D=球体直径，单位为毫米；

d=压痕对角线平均值，单位为毫米。

表 2 圆柱面上维氏硬度测试采用的修正因子（对角线与轴线成 45 度角）

凸面		凹面	
d/D <sup>A</sup>	修正因子	d/D <sup>A</sup>	修正因子
0.009	0.995	0.009	1.005
0.017	0.990	0.017	1.020
0.026	0.985	0.025	1.015
0.035	0.980	0.034	1.020
0.044	0.975	0.042	1.025
0.053	0.970	0.050	1.030
0.062	0.965	0.058	1.035
0.071	0.960	0.066	1.040
0.081	0.955	0.074	1.045
0.090	0.950	0.082	1.050
0.100	0.945	0.089	1.055
0.109	0.940	0.097	1.060
0.119	0.935	0.104	1.065
0.129	0.930	0.112	1.070
0.139	0.925	0.119	1.075
0.149	0.920	0.127	1.080
0.159	0.915	0.134	1.085
0.169	0.910	0.141	1.090
0.179	0.905	0.148	1.095
0.189	0.900	0.155	1.100
0.200	0.895	0.162	1.105
		0.169	1.110
		0.176	1.115
		0.183	1.120
		0.189	1.125
		0.196	1.130
		0.203	1.135
		0.209	1.140
		0.216	1.140
		0.222	1.150

<sup>A</sup>D=球体直径，单位为毫米；

d=压痕对角线平均值，单位为毫米。

表3 圆柱面上维氏硬度测试所用修正因子（一条对角线平行于轴线）

凸面		凹面	
$d/D^A$	修正因子	$d/D^A$	修正因子
0.009	0.995	0.048	1.035
0.019	0.990	0.053	1.040
0.029	0.985	0.058	1.045
0.041	0.980	0.063	1.050
0.054	0.975	0.067	1.055
0.068	0.970	0.071	1.060
0.085	0.965	0.076	1.065
0.104	0.960	0.079	1.070
0.126	0.955	0.083	1.075
0.153	0.950	0.087	1.080
0.189	0.945	0.090	1.085
0.243	0.940	0.093	1.090
		0.097	1.095
		0.100	1.100
		0.103	1.105
		0.105	1.110
		0.108	1.115
		0.111	1.120
		0.113	1.125
		0.116	1.130
		0.118	1.135
		0.120	1.140
		0.123	1.145
		0.125	1.150
$d/D^B$	修正因子		
0.008	1.005		
0.016	1.020		
0.023	1.045		
0.030	1.070		
0.036	1.025		
0.042	1.030		

<sup>B</sup>D=圆柱直径；

d=压痕对角线平均值，单位为毫米。

8.6 施加力—在没有冲击或振动的前提下，按以下要求施加力值。

8.6.1 对于微试验力范围测试，压头应以15到70 $\mu\text{m/s}$ 的速率接触样本。对于显试验力范围测试，压头应以不超过0.2mm/s的速率接触样本。

8.6.2 开始施加力直到达到满试验力的时间应不大于10秒。

8.6.3 施加满试验力10到15秒，除非另有规定。

8.6.3.1 在某些场合，可能有必要施加试验力一段较长时间。在这些场合，力施加时间的公差应为 $\pm 2\text{s}$ 。作用施加应在报告中说明。

8.6.4 在没有冲击或振动的前提下移除试验力。

8.7 试验位置—除去试验力后，启动测量设备。选择需要硬度测定的区域。在施力前，如果有必要，调节光密度，同时调节影像以获得最大分辨率和对比度。

8.7.1 检查压痕相对于需要的压痕位置差别以及对称性。

8.7.2 如果压痕不是在需要的点上压出的，则试验机没有对准。参照制造厂的说明书中的适

当程序来调准试验机。再压一个压痕并重新检查压痕的位置。如有必要,重新调整并重复以上步骤。

### 8.8 压痕检查:

**8.8.1** 对于努氏压痕,如果长对角线长度的一半大于另一条对角线长度的10%或压痕的两端点没有相交于一点,则试样的表面可能没有与压头轴线垂直。检查试样对齐状况并重新测试一次。超过10%极限的压痕应在试验报告中说明。

**8.8.2** 对于维氏压痕,如果一条对角线长度的一半大于另一条对角线长度一半的5%或压痕的四个角没有相交于一点,则试样的表面可能没有与压头轴线垂直。检查试样对齐状况并重新测试一次。超过5%极限的压痕应在试验报告中说明。

**8.8.3** 如果对角线如8.8.1或8.8.2中描述的一样不规则,将试样旋转90°并在没有测试过的区域另外压一个压痕。如果压痕的非对称面已经旋转了90°,则试样表面没有垂直于压头轴线。如果压痕的非对称特性保持在相同方向,则检查压头是否有对齐或损坏。

**8.8.4** 即使压头与试样表面完全对齐,某些材料可能具有非对称的压痕。在单晶或有纹理的材料上进行的试验可能产生这种结果。当这种情况发生时,使用试样,例如已知会产生均匀形状压痕的标定试块来检查有无对准。未在样本上执行压痕对称性测量的试验机不能使用,直到试验机满足8.8.1和8.8.2的要求。

**8.8.5** 脆性材料,例如陶瓷制品可能会因压痕而导致破裂。测试陶瓷制品的具体细节内容包含在试验方法C1326和C1327中。

### 8.9 压痕测量:

**8.9.1** 依照制造商说明书测量努氏压痕的长对角线或维氏压痕的两条对角线。

**8.9.2** 对角线长度测量精确到0.5μm或更小(见6.4)。应使用最高放大倍数来测量压痕,以能观察到全部压痕,同时能在视场内测量压痕。为使压痕落在物镜的视场内,压痕长度应不超过75%的视场宽度。选取测量压痕的物镜也应有≤2%的物镜分辨率( $r_{obj}$ ),以测量对角线长度。物镜分辨率( $r_{obj}$ )为物镜孔径(NA)数值的函数,见注9。典型物镜可测量的最小推荐对角线长度见表4所示。当适用时,应遵循制造商的推荐,以保持物镜分辨率在2%极限之内。

注9—物镜分辨率( $r_{obj}$ )定义为:

$$r_{obj} = \lambda / (2 \times NA) \quad (10)$$

其中:

$\lambda$  = 光的波长,单位为微米(绿光大约为0.55μm)

NA = 制造商定义的物镜孔径数值(NA通常标记在每个物镜的侧面)

例如:某个50×物镜,使用绿光时,NA为0.65。 $r_{obj} = 0.55\mu\text{m} / (2 \times 0.65) = 0.42\mu\text{m}$ 。

**表4 物镜通常使用的推荐压痕对角线长度和NA值**

通常使用的物镜放大倍数 <sup>A</sup>	典型NA(随着物镜类型变化而变化)	物镜分辨率 $r_{obj}$ (μm)	推荐的对角线长度(μm)
5×	0.10	2.75	137.5或更长
10×	0.25	1.1	55或更长
20×	0.4	0.69	34.5或更长
40×	0.55	0.5	25或更长
50×	0.65	0.42	21或更长
100×	0.8	0.34	17或更长

<sup>A</sup> 这是指物镜的放大倍数,而不是指系统的总的放大倍数。许多系统有10×目镜,则目镜通过操作者的眼睛能增加10倍的放大倍数。增加的放大倍数不会改变优选分辨率或推荐的对角线长度。

8.9.3 对于维氏压痕，取两个对角线长度测量值的平均值。

8.10 努氏硬度或维氏硬度计算：

8.10.1 使用5.5或5.6，表X6.1或X6.2中各自相应的等式计算努氏硬度或维氏硬度值。表X6.1和表X6.2给出了对角线长度从  $1\ \mu\text{m}$  到  $200.9\ \mu\text{m}$  使用  $1\ \text{gf}$  试验力时的努氏或维氏硬度值。如果试验力不是  $1\ \text{gf}$ ，则用实际的克-力值乘以表X6.1和X6.2的值来得到正确的硬度值。

8.11 压痕距离——通常试样上的压痕数不止一个。有必要确保压痕的距离应足够远，以便临近的试验不会互相干涉。

8.11.1 出于大多数测试目的，孤立试验位置之间推荐的最小间隔以及压痕和试样表面间的最小距离在图3中有示意。

8.11.2 对于某些情况，可能需要比图3中所示的压痕间隔更小的压痕间隔。如有使用较小的压痕间隔，检验试验程序的精确度是实验室的责任。

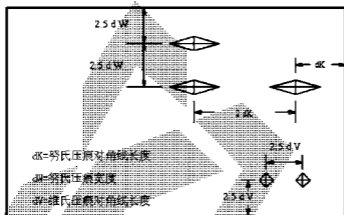


图3 努氏和维氏压痕最小推荐距离

## 9. 试验报告

9.1 报告以下内容：

9.1.1 试验结果（见5.8）、试验次数、以及适用时，试验结果的平均或标准偏差。

9.1.2 试验力，和

9.1.3 力值作用总时间，如果是在8.6.3定义的10到15秒的范围外。

9.1.4 在试验过程中遇到的任何不正常状况。

9.1.5 试验温度，当温度在推荐的 $10\text{°C}\sim 35\text{°C}$  ( $50\text{°F}\sim 95\text{°F}$ ) 温度范围之外时。

## 10. 精度和偏差

10.1 努氏硬度和维氏硬度测量的精度和偏差严格取决于规定的试验程序并且受仪器和材料因数以及压痕测量误差因素的影响。

10.2 相同材料重复试验的一致性取决于材料的同质性、硬度试验机的再现性以及有资格的操作员对压痕的持续认真的测量。

10.3 会影响试验结果的仪器因素包括：装载的精度；惯性作用；装载速度；振动；压痕角度；压头或试样的横向运动；压痕与压头形状偏差。

10.3.1 在受试验力减小而振动加强的影响下，压痕操作过程中的振动将产生较大的压痕，(1, 2)<sup>5</sup>。

<sup>5</sup> 括号里的粗体数字参阅本标准末尾的参考文献清单。

**10.3.2** 压头轴与试样表面的垂直角度应在  $2^\circ$  范围内。较大程度的倾斜将产生不均匀的压痕和无效的试验结果。

**10.4** 会影响试验结果的材料因素包括：试样的同质性；方向或纹理影响；不适当的试样准备；较低的试样表面反射率；试样的透明度。

**10.4.1** 必须去除因机械抛光而产生的残留变形，尤其对于小试验力试验。

**10.4.2** 因晶体结构或显微结构而导致的压痕形状变形会影响对角线长度以及计算硬度值的有效性。

**10.4.3** 压痕过程中的塑性变形会在压痕周边形成会影响测量精度的隆脊。

**10.4.4** 浸蚀表面试验，根据浸蚀的程度，能产生与从那些未浸蚀表面获得的结果不同的结果。

**10.5** 会影响试验结果的测量误差包括：测量设备的不精确校准；目镜的不精确分辨率；不充足的放大率；操作者测量压痕大小中导致的偏差；较差的成像质量；非均匀照明；测量设备的不适当的调零操作。

**10.5.1** 显努氏硬度和维氏硬度测试的精确度受压痕测量精度的严重影响。

**10.5.2** 当测量物镜数值孔径减小时，对角线测量误差就会增加（3，4）。

**10.5.3** 如果操作者持续的测量压痕尺寸过大或过小，偏差就会产生。

**10.6** 某些影响试验结果的因素会产生影响所有的试验结果的系统误差，而其他的一些因素主要影响小试验力的试验结果（5）。这些问题中的某些问题会持续发生，而其他的问题可能以不确定的方式发生。小试验力硬度试验受这些因素的影响程度高于大试验力试验。

**10.7** 对于维氏和努氏硬度试验，计算的显微硬度为三角函数。试验力、压头几何形状和对角线测量。用来计算硬度的等式的全微分可用来评估这些参数变化所导致的影响。

**10.7.1** 维氏—使用等式 6，维氏硬度值的全微分为：

$$dV = \left( \frac{\partial V}{\partial P} \right) dP + \left( \frac{\partial V}{\partial d} \right) dd + \left( \frac{\partial V}{\partial \alpha} \right) d\alpha \quad (11)$$

和

$$\left( \frac{\partial V}{\partial P} \right) = 2 \times 10^3 \times d^2 \times \sin \left( \frac{\alpha}{2} \right) \quad (12)$$

$$\left( \frac{\partial V}{\partial d} \right) = -4 \times 10^3 \times P \times d^{-3} \sin \left( \frac{\alpha}{2} \right) \quad (13)$$

$$\left( \frac{\partial V}{\partial \alpha} \right) = 10^3 \times P \times d^2 \cos \left( \frac{\alpha}{2} \right) \quad (14)$$

因此，硬度为 500HV 的材料，当使用 500 gf 的试验力试验时， $d = 43.06 \mu\text{m}$ ， $\alpha = 136^\circ$ ，并且：

$$\sin \left( \frac{\alpha}{2} \right) = 0.927184.$$

**10.7.1.1** 考虑通过试验力、压头常数或测量对角线长度中的误差来引起材料硬度中 1% 的误差。在这种情况下，硬度值将会为  $HV = 505$  或  $dV = 5$ 。使用等式 12-14，不同参数中的相应误差如表 5 中所示。因此  $P$  值变更 1% 或  $\alpha$  值变更 2.836% 将产生维氏硬度值 1% 的误差。然而，仅需要测量对角线中的 0.5% 误差就可产生维氏硬度值的 1% 的误差。而且，这个分析指示出计算的维氏硬度值不会受压头角度误差的严重影响。

**10.7.2** 努氏硬度—相同地，使用等式 1，遵循以下公式：

$$dK = \left( \frac{\partial K}{\partial P} \right) dP + \left( \frac{\partial K}{\partial c_p} \right) dc_p + \left( \frac{\partial K}{\partial d} \right) dd \quad (15)$$

$$\frac{10^3}{c_p d^2} dP + \frac{10^3 P}{c_p^2 d^2} dc_p + \frac{-2 \times 10^3 P}{c_p d^3} dd \quad (16)$$

因为压头有两种不同的角度, A 和 B,

$$dc_p = \left( \frac{\partial c_p}{\partial A} \right) dA + \left( \frac{\partial c_p}{\partial B} \right) dB \quad (17)$$

$$\left( \frac{\partial c_p}{\partial \angle A} \right) = \frac{-\tan \left( \frac{\angle B}{2} \right)}{4 \sin^2 \left( \frac{\angle A}{2} \right)} \quad (18)$$

和

$$\left( \frac{\partial c_p}{\partial \angle B} \right) = \frac{\cot \left( \frac{\angle A}{2} \right)}{4 \cos^2 \left( \frac{\angle B}{2} \right)} \quad (19)$$

**10.7.2.1** 使用 10.7.2 中应用的微分, 对于使用不同试验力的努氏硬度试验, 硬度的 1% 误差为 KH=505 或 dK=5.07 试验力、对角线测量和压头角度相应的误差如表6所示, 从该分析可以看出, P 值的 1% 误差产生 HK 值的 1% 误差, 测量的对角线 0.5% 的误差产生 HK 值的 1% 的误差, 以及  $c_p$  值的 1% 误差产生 HK 值的 1% 误差。

**10.7.2.2** 由于压头常数受两个不同角度决定,  $\angle A$  的  $\pm 3''$  的误差或  $\angle B$  的  $26'26''$  误差都会产生 HK 值 1% 的误差。不像维氏压头, 计算的努氏硬度值受压头两角度微小偏差的严重影响。这些参数中, A 角  $172^\circ 30' 00''$  是最敏感的。每个压头的实际的  $c_p$  值可使用压头制造厂提供的合格的 A 角和 B 角来计算。这将会提升试验测量的精度。

表5 维氏硬度分析—1%误差

力值, gf	对角线长度, $\mu\text{m}$	1%误差		
		$\Delta P$ , gf	$\Delta$ 对角线长度, $\mu\text{m}$	$\Delta$ 角度, $^\circ$
10	6.096	0.100	-0.030	2.836
20	8.612	0.200	-0.043	2.836
50	13.617	0.499	-0.068	2.836
100	19.258	0.999	-0.096	2.836
200	27.235	1.998	-0.136	2.836
500	43.062	4.994	-0.215	2.836
1000	60.899	9.988	-0.304	2.836
				$2^\circ 50' 24''$

表6 努氏硬度分析—1%误差

力值, gf	对角线长度, $\mu\text{m}$	1%误差			
		$\Delta P$ , gf	$\Delta$ 对角线长度, $\mu\text{m}$	$\Delta A$ , $^\circ$	$\Delta B$ , $^\circ$
10	16.87	0.10	-0.08	0.075	0.439
20	23.86	0.20	-0.12	0.075	0.439
50	37.72	0.50	-0.19	0.075	0.439
100	53.35	1.00	-0.27	0.075	0.439
200	75.45	2.00	-0.38	0.075	0.439
500	119.29	5.00	-0.60	0.075	0.439
1000	168.71	10.00	-0.84	0.075	0.439
				$4' 30''$	$26' 20''$



**10.8** 在几年的时间里，依照操作规程E691进行了四次独立内部实验室研究实验，以确定本试验方法的精度、重复性和再现性。这四次研究定义如下：

a) 努氏和维氏硬度测试，微范围选取6组试验力，12实验室，手动测量，7个不同硬度等级样本。见10.8.1和附录X3。

b) 努氏和维氏硬度测试，微范围选取2组试验力，7实验室，图像分析和手动测量，4个不同硬度等级样本。见10.8.2和附录X4。

c) 努氏和维氏硬度测试，微范围选取6组试验力，25实验室，手动测量，6个不同硬度等级样本。见10.8.3。

d) 努氏和维氏硬度测试，显范围选取4组试验力，7实验室，手动测量，3个不同硬度等级样本。见10.8.4。

**10.8.1** 有依照操作规程 E691 进行过某一内部实验室间的试验项目，目的是获得与在微范围<sup>6</sup>下努氏和维氏压痕测量的精密度、重复性和再现性有关的信息。试验力为 25, 50, 100, 200, 500, 和 1000 gf，在 3 个铁质材料和 4 个非铁质材料上进行了试验 (6, 7)。12 个实验室测量了压痕，每个样本上每个试验力下分别试验了 5 次。该研究的更多细节在附录 X3 中有给出。

**10.8.1.1** 3 个铁质试样的试验显示 9 个实验室得到类似的测量结果，而 2 个实验室对压痕大小的测量一直偏低并且 1 个实验室对压痕大小的测量一直偏高。这些后面的数据会随着试验力的降低以及试样硬度的增加（即对角线长度减少）而变的尤为突出并且对维氏和努氏压痕都进行了观测。较低硬度的非铁质压痕试验结果具有较好的一致性。然而，在金属试样上获得较大或较小试验结果的实验室没有一家测量了非铁质试样的压痕。

**10.8.1.2** 重复性——在相同实验室相同材料上进行的两次测试结果之间的误差而导致的偏差会随试样硬度增加和试验力增加而增加（见 X3.4.4）

**10.8.1.3** 再现性——在不同实验室内的相同材料上的测试结果的偏差会随试样硬度的增加以及试验力的增加而增加（见 X3.4.5）

**10.8.1.4** 实验室内和实验室间的精密度值会随试样硬度的降低和试验力的降低而改善。重复性和再现性值通常大于精密度估计值，尤其在小试验力和高试样硬度的条件下。

**10.8.2** 图像分析测量——有依照操作规程 E691 进行过实验室间的试验项目，目的是开发与使用自动图像分析系统或手动程序进行的努氏和维氏测量的重复性和再现性有关的信息。在实验室间试验中使用了4个铁质试样。试验在100 gf 和300 gf的试验力下进行。该试验项目的参与者测量了4个试样上相同的压痕。7个实验室使用两种程序测量了试样。试样C1上的努氏压痕对1个实验室太长了而无法测量，因此，该试样上仅进行了6组测量。在试验项目将要结束时，试样B1在运输过程中丢失，因此该试样上仅进行了6组测量。该研究的更多细节在附录X4中有给出。

**10.8.2.1** 重复性与在同一实验室由同一操作者使用规定的试验仪器获得的相互独立的测试结果之间的可变性有关。对于手动或自动测量，重复性会随试样硬度增加和试验力的增加而增加，见附录X4。在等效的测试条件下，自动测量的重复性值会稍微大于手动测量的重复性值。

**10.8.2.2** 再现性与不同实验室采用相同的试验方法，使用相同或类似的试样获得的独立的测量结果之间的可变性有关。对于手动或自动测量，再现性值会随试样硬度增加和试验力的增加而增加，见附录X4。在等效的测试条件下，自动测量的再现性值会稍微大于手动测量的再现性值。

<sup>6</sup> 支持数据已经由ASTM国际总部归档，可通过申请研究报告RR:E04-1004获得支持数据。

**10.8.2.3 规程 E691 或其他任何 ASTM 标准论述的是通过两种不同的试验方法来对比单个属性的试验结果。因此，是不可能对手动或自动程序的硬度测量值进行统计学或准确地对比。然而，这些信息可绘制成图用作对比之目的，见X4.6。**

**10.8.3 本试验方法的精度依据E384-07（材料微压痕硬度标准试验方法，2007年发布）的某一次内部实验室研究，即在25个实验室测试了总共6中铁素体材料的维氏硬度，13个实验室还提交了努氏硬度结果。每个“试验结果”都已报告，同时实验“平均值”代表为五次单独测量值（适用于努氏试验）或五次独立测量值（每个值为两个读数的平均值，适用于维氏试验）的平均结果。允许按规程E691设计和分析数据，详细信息见ASTM研究报告E04-1006。<sup>7</sup>**

**10.8.3.1 重复性范围 (r)**—如果一个实验室内获得的两个试验结果的差值大于该材料的“r”值，应判定为不等效。“r”是指一个区间，代表了在相同材料上，由相同操作者使用相同设备在同一天同一实验室获得的两个试验结果的临界差。

**10.8.3.2 重复性范围可用对角线长模 ( $\mu\text{m}$ ) 表示，见表7和表8，也可用硬度单位 (HK, HV) 表示，见表9和表10。**

**10.8.3.3 再现性范围 (R)**—如果两个试验结果的差值大于该材料的“R”值，应判定为不等效。“R”是指一个区间，代表了在相同材料上，由不同操作者使用不同设备在不同实验室获得的两个试验结果的临界差。

**10.8.3.4 重复性范围可用对角线长度 ( $\mu\text{m}$ ) 表示，见表7和表8及图4和图5，也可用硬度单位 (HK, HV) 表示，见表9和表10及图6和图7。**

**10.8.3.5 以上术语（重复性范围和再现性范围）见规程E177的规定。**

**10.8.3.6 按10.8.3.1和10.8.3.4所述进行的判定将获得大约95%的准确性。**

**10.8.3.7 通过在25个实验室，使用6种铁素体材料获得的结果进行统计检查获得精度。这些铁素体材料描述为：**

样本A: H13, 磨削退火, 硬度小于20 HRC

样本B: H13, 奥氏体化、淬火和回火至硬度50 HRC

样本C: H13, 奥氏体化、淬火和回火至硬度40 HRC

样本D: H13, 奥氏体化、淬火和回火至硬度30 HRC

样本E: O1, 奥氏体化、淬火和回火O1钢至硬度60 HRC

样本T: T15 P/M, 奥氏体化、淬火和回火至硬度67 HRC

为判定两个试验结果的等效性，建议选择接近测试材料的材料。

**10.8.4 显维氏精度依据E92（金属材料维氏硬度标准试验方法，2001年发布）的内部实验室研究进行确定。（在本版本，试验方法E92已成为E384的一部分。）以上所述实验室研究即在7个实验室测试了3种不同标准硬度试块，使用的显范围试验力有1kg,5kg,10kg和20kg。只有4个实验室也能提供在50kg试验力时的试验结果，以允许评估内部实验室结果。规程E691过去用于数据的设计和分析，详细信息见ASTM研究报告RR:E04-1007。<sup>8</sup>**

**10.8.4.1 重复性范围 (r)**—如果一个实验室内获得的两个试验结果的差值大于该材料的“r”值，应判定为不等效。“r”是指一个区间，代表了在相同材料上，由相同操作者使用相同设备在同一天同一实验室获得的两个试验结果的临界差。重复性范围见下表11-15所示。

**10.8.4.2 再现性范围 (R)**—如果两个试验结果的差值大于该材料的“R”值，应判定为不等效。“R”是指一个区间，代表了在相同材料上，由不同操作者使用不同设备在不同实验室获得的两个试验结果的临界差。再现性范围见下表11-15所示。

**10.8.4.3 以上术语（重复性范围和再现性范围）见规程E177的规定。**

<sup>7</sup> 支持数据已由ASTM国际总部归档，可通过申请研究报告RR:E04-1006获得支持数据。

<sup>8</sup> 支持数据已由ASTM国际总部归档，可通过申请研究报告RR:E04-1007获得支持数据。

10.8.4.4 按10.8.4.1和10.8.4.2所述进行的判定将获得大约95%的准确性。

10.8.4.5 偏差—本试验方法的偏差没有认可的评估标准。

10.8.4.6 通过在7个实验室，在3个试块上获得的288个结果进行统计检查获得精度。材料描述为：

材料1：200 HV

材料2：400 HV

材料3：800 HV

表7 努氏微压痕硬度测试内部实验室研究的精度统计  
(铁素体样本，以对角线长度为单位 ( $\mu\text{m}$ ) 表示)

样本	试验力 (gf)	对角线 平均长度 ( $\mu\text{m}$ )	标准偏 差( $\mu\text{m}$ )	重复性标准 偏差( $\mu\text{m}$ )	再现性标准 偏差( $\mu\text{m}$ )	重复性极限 ( $\mu\text{m}$ )	再现性极限 ( $\mu\text{m}$ )
		$\bar{d}$	$S_x$	$S_r$	$S_R$	$r$	$R$
A	25	35.61	1.40	0.72	1.54	2.00	4.31
	50	51.77	1.33	1.11	1.66	3.12	4.66
	100	74.84	1.65	1.77	2.28	4.95	6.40
	300	132.28	2.63	2.57	3.50	7.20	9.79
	500	171.51	2.07	2.46	3.02	6.89	8.45
	1000	243.11	1.72	2.96	3.16	8.29	8.84
B	25	23.66	0.95	0.48	1.04	1.34	2.91
	50	34.33	0.94	0.56	1.07	1.57	2.99
	100	49.61	1.12	0.65	1.26	1.82	3.54
	300	88.64	1.39	0.88	1.59	2.45	4.46
	500	115.48	1.68	1.11	1.95	3.11	5.46
	1000	164.38	1.65	1.52	2.14	4.25	5.98
C	25	27.62	1.33	0.49	1.41	1.38	3.93
	50	39.47	1.14	0.50	1.22	1.39	3.43
	100	56.66	1.05	0.64	1.20	1.79	3.85
	300	100.14	1.25	0.81	1.44	2.26	4.03
	500	130.19	1.50	0.83	1.68	2.33	4.69
	1000	184.84	1.79	1.19	2.08	3.33	5.82
D	25	31.04	1.04	0.46	1.11	1.28	3.12
	50	44.64	0.85	0.45	0.95	1.30	2.65
	100	64.22	1.08	0.67	1.24	1.89	3.47
	300	113.94	0.94	0.82	1.19	2.29	3.33
	500	148.16	1.16	0.74	1.33	2.06	3.73
	1000	210.10	2.03	1.64	2.50	4.58	7.00
E	25	20.02	0.72	0.48	0.84	1.36	2.34
	50	29.03	1.00	0.48	1.09	1.34	3.05
	100	42.21	1.15	0.52	1.24	1.46	3.46
	300	76.03	1.00	0.53	1.11	1.48	3.10
	500	99.25	1.06	0.49	1.15	1.37	3.21
	1000	141.67	1.27	0.85	1.48	2.39	4.15
T	25	17.14	0.88	0.48	0.98	1.35	2.76
	50	25.59	1.03	0.47	1.12	1.32	3.12
	100	37.20	1.45	0.52	1.52	1.46	4.26
	300	67.43	1.39	0.65	1.51	1.82	4.22
	500	88.27	1.11	0.66	1.26	1.85	3.53
	1000	126.96	1.47	0.75	1.61	2.09	4.52

表8 维氏微压痕硬度测试内部实验室研究的精度统计  
(铁素体样本, 以对角线长度为单位 ( $\mu\text{m}$ ) 表示)

样本	试验力 (gf)	对角线平均长度 ( $\mu\text{m}$ )	标准偏差 ( $\mu\text{m}$ )	重复性标准偏差 ( $\mu\text{m}$ )	再现性标准偏差 ( $\mu\text{m}$ )	重复性极限 ( $\mu\text{m}$ )	再现性极限 ( $\mu\text{m}$ )
		$\bar{d}$	$S_k$	$S_r$	$S_R$	$r$	$R$
A	25	13.89	0.75	0.30	0.80	0.85	2.24
	50	19.81	0.61	0.34	0.68	0.95	1.91
	100	28.10	0.57	0.45	0.70	1.26	1.96
	300	49.19	0.75	0.72	0.99	2.02	2.77
	500	63.65	0.81	0.88	3.16	2.47	1.13
	1000	90.48	0.98	1.31	1.53	3.66	4.28
B	25	9.35	0.40	0.25	0.46	0.69	1.28
	50	13.06	0.37	0.23	0.42	0.63	1.18
	100	18.51	0.39	0.39	0.52	1.09	1.47
	300	32.11	0.43	0.30	0.50	0.84	1.41
	500	41.68	0.51	0.36	0.60	1.00	1.69
	1000	59.21	0.55	0.52	0.72	1.46	2.03
C	25	10.81	0.53	0.19	0.56	0.54	1.56
	50	15.13	0.42	0.20	0.46	0.57	1.29
	100	21.34	0.40	0.22	0.45	0.62	1.25
	300	36.85	0.38	0.21	0.43	0.59	1.20
	500	47.68	0.55	0.24	0.59	0.67	1.64
	1000	67.60	0.58	0.33	0.65	0.93	1.83
D	100	24.50	0.43	0.29	0.50	0.82	1.40
	300	42.52	0.41	0.28	0.48	0.80	1.35
	500	55.02	0.50	0.25	0.55	0.70	1.54
	1000	78.14	0.70	0.34	0.77	0.97	2.15
E	100	15.61	0.40	0.18	0.43	0.52	1.20
	300	27.25	0.41	0.25	0.46	0.70	1.30
	500	35.26	0.43	0.20	0.46	0.55	1.30
	1000	50.06	0.41	0.24	0.46	0.67	1.29
T	300	23.94	0.47	0.17	0.49	0.49	1.38
	500	31.00	0.51	0.21	0.55	0.59	1.53
	1000	44.12	0.50	0.25	0.55	0.69	1.53

## 11. 与其他硬度单位或抗拉强度值的换算

11.1 没有准确换算努氏或维氏努氏硬度和维氏硬度值至其他硬度单位或抗拉强度值的公认方法。这种换算受应用范围的限制并且应小心使用, 有通过对比试验得到了换算的可靠依据的特殊情况除外。试验力 $\geq 100$  gf 的微压痕努氏硬度值与宏观维氏硬度值基本上一致。有关金属的硬度换算表请参照试验方法 E140。

## 12. 关键词

12.1 硬度; 压痕; 努氏; 微观压痕; 宏观压痕; 维氏

表9 努氏微压痕硬度测试内部实验室研究的精度统计  
(铁素体样本, 以硬度为单位 (HK) 表示)

样本	试验力 (gf)	平均对 角线长 度( $\mu\text{m}$ )	标准偏 差(HK)	重复性标准 偏差(HK)	再现性标准 偏差(HK)	重复性极限 (HK)	再现性极限 (HK)
	(gf)	d	$S_x$	$S_t$	$S_R$	r	R
A	25	35.61	22.07	11.35	24.29	31.56	68.41
	50	51.77	13.64	11.39	17.03	32.05	47.98
	100	74.84	11.20	12.02	15.49	33.68	43.61
	300	132.28	9.70	9.48	12.91	26.60	36.21
	500	171.51	5.84	6.94	8.52	19.45	23.86
	1000	243.11	3.41	5.86	6.26	16.43	17.52
B	25	23.66	51.07	25.79	55.92	72.09	157.50
	50	34.33	33.07	19.70	37.65	55.27	105.55
	100	49.61	26.11	15.15	29.38	42.45	82.72
	300	88.64	17.04	10.79	19.49	30.04	54.74
	500	115.48	15.52	10.26	18.02	28.75	50.50
	1000	164.38	10.57	9.74	13.73	27.24	38.34
C	25	27.62	44.96	16.55	47.67	46.65	134.05
	50	39.47	26.39	11.57	28.24	32.19	79.67
	100	56.66	16.43	10.01	18.78	28.02	52.50
	300	100.14	10.63	6.89	12.24	19.22	34.29
	500	130.19	9.67	5.35	10.83	15.03	30.26
	1000	184.84	8.07	5.36	9.37	15.01	26.24
D	25	31.04	24.75	10.94	26.42	30.48	74.60
	50	44.64	13.60	7.36	15.20	20.80	42.46
	100	64.22	11.61	7.20	13.33	20.32	37.34
	300	113.94	5.43	4.73	6.87	13.22	19.23
	500	148.16	5.08	3.24	5.82	9.01	16.32
	1000	210.10	6.23	5.03	7.67	14.06	21.49
E	25	20.02	63.88	42.57	74.54	120.86	208.90
	50	29.03	58.20	27.92	63.44	78.02	178.37
	100	42.21	43.53	19.68	46.94	55.28	131.37
	300	76.03	19.43	10.30	21.56	28.76	60.27
	500	99.25	15.43	7.13	16.74	19.94	46.74
	1000	141.67	12.71	8.51	14.81	23.92	41.55
T	25	17.14	124.50	67.85	138.69	191.33	395.07
	50	25.59	87.53	39.91	95.19	112.23	266.90
	100	37.20	80.22	28.75	84.10	80.77	237.05
	300	67.43	38.71	18.10	42.06	50.70	117.74
	500	88.27	22.97	13.65	26.07	38.28	73.09
	1000	126.96	20.44	10.43	22.39	29.07	62.90

表10 维氏微压痕硬度测试内部实验室研究的精度统计  
(铁素体样本, 以硬度为单位 (HV) 表示)

样本	试验力 (gf)	平均对 角线长 度( $\mu\text{m}$ )	标准偏 差(HV)	重复性标准 偏差(HV)	再现性标准 偏差(HV)	重复性极限 (HV)	再现性极限 (HV)
	(gf)	d	$S_k$	$S_r$	$S_R$	r	R
A	25	13.89	25.99	10.38	27.73	29.46	78.52
	50	19.81	14.56	8.11	16.23	22.69	45.77
	100	28.10	9.53	7.52	11.70	21.08	32.84
	300	49.19	7.01	6.73	9.26	18.90	25.94
	500	63.65	5.83	6.33	22.75	17.78	8.13
	1000	90.48	4.91	6.56	7.66	18.34	21.45
B	25	9.35	45.41	28.37	52.24	78.48	146.56
	50	13.06	30.81	19.15	34.98	52.51	98.63
	100	18.51	22.81	22.81	30.42	63.85	86.24
	300	32.11	14.45	10.08	16.81	28.24	47.43
	500	41.68	13.06	9.22	15.37	25.62	43.32
	1000	59.21	9.83	9.29	12.87	26.09	36.29
C	25	10.81	38.95	13.95	41.16	39.69	115.71
	50	15.13	22.50	10.71	24.64	30.54	69.32
	100	21.34	15.27	8.40	17.18	23.67	47.79
	300	36.85	8.45	4.67	9.56	13.12	26.70
	500	47.68	9.41	4.11	10.09	11.46	28.07
	1000	67.60	6.96	3.96	7.80	11.17	21.98
D	100	24.50	10.85	7.31	12.61	20.69	35.36
	300	42.52	5.93	4.05	6.95	11.58	19.55
	500	55.02	5.57	2.78	6.12	7.79	17.15
	1000	78.14	5.44	2.64	5.99	7.54	16.72
E	100	15.61	39.01	17.55	41.94	50.73	117.35
	300	27.25	22.55	13.75	25.30	38.50	71.56
	500	35.26	18.19	8.46	19.46	23.27	55.03
	1000	50.06	12.12	7.10	13.60	19.81	38.15
T	300	23.94	38.12	13.79	39.74	39.74	112.09
	500	31.00	31.75	13.07	34.24	36.73	95.35
	1000	44.12	21.59	10.80	23.75	29.80	66.11

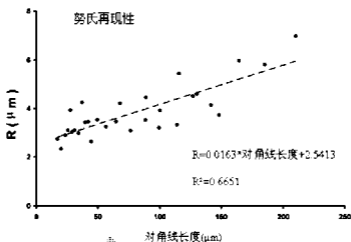


图4 努氏硬度试验，对于样本B、C、D、E和T，表7中再现性（R）与对角线长度（d）之间的关系（以微米为单位）

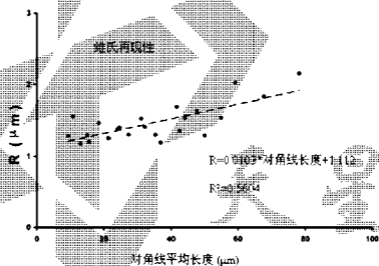


图5 维氏硬度试验，对于样本B、C、D、E和T，表8中再现性（R）与对角线长度（d）之间的关系（以微米为单位）

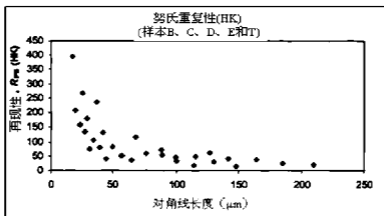


图6 努氏硬度试验, 对于样本B、C、D、E和T, 表9中再现性 (R) 与对角线长度 (d) 之间的关系 (以HK为单位)

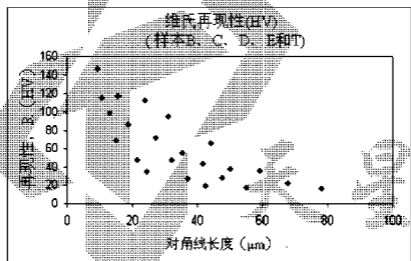


图7 维氏硬度试验, 对于样本B、C、D、E和T, 表10中再现性 (R) 与对角线长度 (d) 之间的关系 (以微米为单位)



表 11 1kgf 试验力的维氏硬度 (HV)

试块公称 硬度(HV)	平均值 (HV)	偏差	重复性标准 偏差(HV)	再现性标准 偏差(HV)	重复性 极限 (HV)	再现性 极限(HV)
	$\bar{X}$	%	$s_r$	$s_R$	r	R
200	209.2	N/A	4.1	7.1	11.5	19.9
400	413.8	N/A	8.1	15.6	22.8	43.7
800	812.9	N/A	21.8	21.8	61.1	61.1

表 12 5kgf 试验力的维氏硬度 (HV)

试块公称 硬度(HV)	平均值 (HV)	偏差	重复性标准 偏差(HV)	再现性标准 偏差(HV)	重复性 极限 (HV)	再现性 极限(HV)
	$\bar{X}$	%	$s_r$	$s_R$	r	R
200	199.0	N/A	1.7	5.2	4.7	14.5
400	421.8	N/A	4.8	7.3	13.3	20.5
800	828.0	N/A	8.9	19.5	25.0	54.6

表 13 10kgf 试验力的维氏硬度 (HV)

试块公称 硬度(HV)	平均值 (HV)	偏差	重复性标准 偏差(HV)	再现性标准 偏差(HV)	重复性 极限 (HV)	再现性 极限(HV)
	$\bar{X}$	%	$s_r$	$s_R$	r	R
200	198.1	N/A	2.1	3.0	6.0	8.5
400	398.5	N/A	2.9	9.1	8.2	25.4
800	800.2	N/A	2.3	11.7	6.6	32.7

表 14 20kgf 试验力的维氏硬度 (HV)

试块公称 硬度(HV)	平均值 (HV)	偏差	重复性标准 偏差(HV)	再现性标准 偏差(HV)	重复性 极限 (HV)	再现性 极限(HV)
	$\bar{X}$	%	$s_r$	$s_R$	r	R
200	197.2	N/A	1.8	3.5	4.9	9.9
400	415.7	N/A	2.5	5.1	7.0	14.2
800	811.5	N/A	8.3	16.6	23.3	46.6

表 15 50kgf 试验力的维氏硬度 (HV)

试块公称 硬度(HV)	平均值 (HV)	偏差	重复性标准 偏差(HV)	再现性标准 偏差(HV)	重复性 极限 (HV)	再现性 极限(HV)
	$\bar{X}$	%	$s_r$	$s_R$	r	R
200	191.2	N/A	0.5	1.5	1.4	4.3
400	399.9	N/A	1.1	2.0	3.1	5.7
800	814.4	N/A	2.8	12.0	7.7	33.6

## 附录

## (强制性信息)

## A1. 努氏和维氏硬度试验机及压头的检验

## A1.1 范围

A1.1.1 附录 A1 规定了努氏和维氏硬度试验机的三种检验方法。直接检验、间接检验和每周检验。本附录也包括了压头的几何形状规范。

A1.1.2 直接检验是通过试验力直接检验、压痕深度测量装置的校准或试验循环时间的检验来核实硬度试验机的主要零件均在容许的公差范围内。

A1.1.3 间接检验是通过使用标定试块定期检验试验机的性能。

A1.1.4 每周检验是通过使用标定试块在间接检验时间段之间来监测试验机的性能。

## A1.2 一般要求

A1.2.1 试验机应如表 A1.1 中规定以及在高湿环境可能影响试验机性能时，在具体实例下或规定周期时间段进行检验。

A1.2.2 当有可追溯系统存在时，本附录要求的所有的用来检验和校准的仪器应能追溯到国家标准，除非另有注明。

A1.2.3 试验机的间接检验应在其使用位置进行。

A1.2.4 新制或翻新试验机的间接检验可在制造工厂，翻新地方或使用地方进行。

注 A1.1——建议用来进行努氏硬度和维氏硬度试验机检验的校准机构应为认证机构依照国际实验室授权组织 (ILAC) 的 ISO/IEC 17011 要求认证的符合 ISO/IEC 17025 (或等效标准) 要求的机构。

## A1.3 直接检验

A1.3.1 试验机的直接检验应依照表 A1.1 在具体的实例下进行。试验力、压痕测量系统和试验循环时间应按以下步骤要进行检验。

注 A1.2——直接检验是确定努氏硬度和维氏硬度试验机中误差原因的有用工具。建议对试验机进行周期性的直接检验来确信试验机中一个零件的误差未被另外一个零件中的误差所抵消。

表 A1.1 努氏和维氏硬度试验机的检验周期

检验方法	时间表
直接检验	当试验机是新机时，或有进行可能会影响试验力施力或测量装置的调整、修改或维修时。遵守制造商的建议来确定什么时候需要对维修、修改或调整过的仪器进行直接检验。 当试验机不能通过间接检验时
间接检验	周期不应超过 18 个月。 推荐的周期为每 12 月检验一次。 当试验机有拆卸并重新装配后或改变位置时建议进行检验。
每周检验	正在使用的试验机要求每周检验一次。 当更换压头或试验力时建议进行检验。

A1.3.2 试验力的检验——对于每一个将会使用的努氏硬度和维氏硬度标尺，应测量其相应的试验力。试验力的测量应依照规程 E74 中描述的精度不低于 0.25% 的 A 类弹性试验力测量仪器进行测量。

A1.3.2.1 对每个试验力读取三个读数。试验力应在试验过程中施加的时候测量，然而，当

有必要为使测量仪器获得精确的测量数据时，可允许较长的试验力保持时间。

**A1.3.2.2** 每个试验力 P 应满足表 A1.2 中规定的要求。

**A1.3.3** 压痕测量装置的校准——用于测定压痕对角线长度的测量装置应在整个工作时间的平均的 5 个时间段内通过对比精确的标尺（例如分级测微尺）对其进行检验。分级测微尺的每格精度应为 0.1 微米或 0.05%，取最大值。在整个量程内，仪器与分级测微尺读数偏差不应超过 0.4 微米或 0.5%，取最大值。

**A1.3.4** 试验循环时间的检验——试验机应检验是否能满足 8.6 中规定的试验循环时间公差的规定。试验循环时间的直接检验由制造厂在生产时进行或在试验机退回到制造厂维修时或怀疑试验循环时间有问题时进行。推荐进行试验循环时间的检验但在平时不会成为直接检验要求的一部分。

注 A1.3——使用软件或其他不可调节的零件计时的仪器不需要检验，前提条件是该设计已经证实能得到正确的时间循环。

**A1.3.5** 压头的检验——压头的几何形状检验应在生产时进行并且对于新机来说是强制性的。压头的后续检验是通过对其压出压痕的目视检验来完成：通过对比标定试块上的压痕形状足以可检验压头存在的缺陷。压头的几何形状规定如下：

**A1.3.5.1** 维氏压头：

(1) 标准用途、直接检验和间接检验用的维氏金刚石压头的两面之间的夹角应为  $136^{\circ} 0' \pm 30'$ 。  $136^{\circ}$  的面顶角可通过测量相对边缘之间的角度来检验。当测量时，边缘角度应为  $148^{\circ} 6' 36'' \pm 45''$ 。边缘角度对压头的轴线应具有相同的倾斜率（误差在  $\pm 30'$  以内）。

(2) 当采用  $\geq 1\text{kg}$  的试验力进行测试时，顶端横刃应不超过  $1\mu\text{m}$ 。当采用  $< 1\text{kg}$  的试验力进行测试时，顶端横刃应不超过  $0.5\mu\text{m}$ 。

注 A1.4——允许采用放大倍数至少为 500 倍的显微镜来观测压头压出的压痕并且将顶端横刃与已知尺寸进行对比。

(3) 金刚石四个面对压头轴线应具有相同的倾斜率（误差在  $\pm 30'$  以内）。

**A1.3.5.2** 努氏压头：

(1) 努氏金刚石压头（见图 2，标准试验和间接校验用压头在长度方向的两个相对棱边之间的顶角应为  $\angle A = 172^{\circ} 30' \pm 0.10^{\circ} 6'$ 。）

(2) 相应的  $\angle B = 130^{\circ}$  必须控制在表 A1.3 中所列尺寸的范围，并且其图示如图 A1.1 所描述。

(3) 压头常数  $c_p$  应在  $0.07028 \pm 1\%$  之内 ( $0.06958 \leq c_p \leq 0.07098$ )。

(4) 对于长度大于  $15\mu\text{m}$  的压痕，顶端横刃，如图 2 所示长度不应大于  $1.0\mu\text{m}$ ，对于较短的压痕，顶端横刃应按比例减小（见注 A1.4）。

(5) 金刚石的四个面对压头的轴线应具有相同的倾斜率（误差在  $\pm 30'$  以内）。

**表 A1.2 作用力的精确度**

作用力, gf	精确度, %
$P < 200$	1.5
$P \geq 200$	1.0

**表 A1.3 努氏硬度的角度公差**

角度 A, °	角度 B, °	
	最小值	最大值
172.4	128.97	129.85
172.6	130.15	131.02

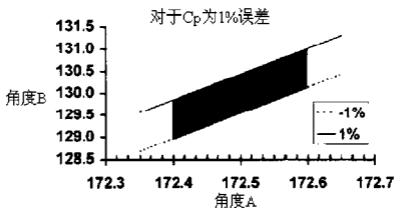


图 A1.1 努氏压头可接受的角度范围示意图

**A1.3.6 直接检验失败**—如有任何直接检验没有通过规定的要求,则在调整或维修之前不应使用该试验机。如果试验力、压痕测量装置或试验循环时间可能受到了调整或维修的影响,受影响的零件应使用直接检验法重新检验一次。

**A1.3.7 间接检验**—直接检验成功通过之后,应按A1.4进行间接检验。

#### A1.4 间接检验

**A1.4.1 试验机的间接检验**应依照表 A1.1 给出的计划进行。间接检验需要的次数可能会比表 A1.1 中规定的更频繁并且应根据试验机的使用情况。

**A1.4.2 在进行下一次间接检验之前**,应检验试验机将会用到的每一个试验力和每一个压头。使用没有按表 A1.1 中给出的计划检验的努氏硬度和维氏硬度标尺进行的硬度试验不符合本标准。

**A1.4.3 用于间接检验的标定的标定试块**应满足附录 A2 要求。

注 A1.5——人们认识到没有适用于所有的几何形状、材料或硬度范围的标定试块。

**A1.4.4 用于间接检验的压头**应满足 A1.3.5 要求。

**A1.4.5 发现时状态**—建议对试验机的发现时的状态进行评估作为间接检验的一部分。这对记录试验机的历史性能是十分重要的。操作应在任何清洗、维护、调整或维修之前由检验机构来完成。

**A1.4.5.1 试验机的发现时状态**应使用用户的压头(即通常与试验机一起使用的压头)进行测定。对于每一个待间接检验的努氏硬度和维氏硬度标尺,应从正常试验范围中选用一个或多个标定的标定试块。

**A1.4.5.2 在每一个标定的标定试块的实验面上**,应测量至少 3 个均匀分布的压痕。用  $d_1, d_2, \dots, d_n$  表示压痕对角线测量值,  $\bar{d}$  为测量结果的平均值。

注 A1.6——当在小试验力下试验时,为了获得较为一致的结果,有必要增加试验的次数。

**A1.4.5.3 为每一个标定的标定试块测定试验机的性能的重复性  $R_{md}$  和误差 E**,使用 A1.7 节中的等式 A1.1 和 A1.3。

**A1.4.5.4 重复性  $R_{md}$  和误差 E**应在表 A1.5 或表A1.6规定的公差范围内。

**A1.4.5.5 如果重复性 R 或误差 E 计算的数值超出规定的公差**,则说明自上次间接检验以来进行的硬度试验可能是可疑的。

**A1.4.6 清洗和维护**—当要求时,依照制造厂的规范和说明书对试验机进行清洗和日常维护。

表 A1.4 间接检验用硬度范围

范围	努氏	维氏
低	< 250	< 240
中	250-650	240-600
高	> 650	> 600

**A1.4.7 间接检验程序**——间接检验程序是为了验证对于所有的将要使用的努氏和维氏硬度标尺，每一个试验力都有精确地施加，每一个压头都是正确的并且测量装置有针对标尺测量压痕大小范围进行过正确地校准。这通过测量标定试块上的硬度值来完成，标定试块已针对施加相应试验力的适用的努氏和维氏硬度标尺进行了标定。

**A1.4.7.1** 试验机的检验应使用用户的压头，该压头为通常试验用压头。

**A1.4.7.2** 试验机的检验应使用至少两个标定的标定试块。标定试块的硬度值和硬度标尺的选择应满足以下标准：

**A1.4.7.3** 将使用每一个试验力。

**A1.4.7.4** 对于将要检验的每一个标尺，至少应有一个硬度标定试块依照附录A2 进行了标定。

**A1.4.7.5** 至少两个标定试块来自于表 A1.4 中规定的不同硬度范围（低、中或高硬度）。用于检验的两标定试块的硬度偏差应为最小 100 点。例如，如果使用硬度为220 的标定试块来检验低硬度范围标尺，则应使用最小硬度为 320 的标定试块来检验中硬度范围的标尺。当执行多个硬度标尺检验时，需要的试块见以下更多的示例。

**A1.4.7.6** 应在来自于选择硬度范围的较低硬度的标定试块上使用最大的试验力来压出最大的压痕尺寸，并且在来自于选择硬度范围的较高硬度的标定试块上使用最小的试验力压出最小的压痕尺寸。压痕尺寸的两个极限值会检定测量装置的测量能力。

示例 1——对试验机使用的 HV0.5 和 HK1 标尺进行检验。选择了两个标定试块用于检验：450 HV0.5（中硬度范围）和 HK1（低硬度范围）。在这种情况下，两个试验力仅用两个标定试块进行了检验。最大试验力（1000gf）被用在低硬度范围的标定试块上，并且最小的试验力（500 gf）被用在中硬度范围（两种硬度范围的较高范围）标准试块上。

示例 2——对试验机使用的 HK0.1、HV0.3 和 HV1 标尺进行检验。选择了三个标定试块用于检验：720 HK0.1（高硬度范围）、480 HV0.3（中硬度范围）和 180 HV1（低硬度范围）。在这种情况下，必须检验三个试验，最大试验力（1000gf）被用在低硬度范围标定试块上，并且最小试验力（100gf）标尺被用于高硬度范围标定试块上。中硬度试验力（300gf）标尺可被用在低硬度范围或中硬度范围标定试块上。

示例3——对试验机使用的 HV0.5 和 HV1 标尺进行检验。选择了两个标定试块用于检验：150 HV（低硬度范围）和 450 HV（中硬度范围）。在这种情况下，两个试验力仅用两个标定试块进行了检验。最大试验力（1000gf）被用在低硬度范围标定试块上，并且最小试验力（500gf）标尺被用于中硬度范围（两种硬度范围的较高范围）标定试块上。

示例4——对试验机使用的 HV 1000gf、HV 3000gf 和 HV 5000gf 标尺进行检验。选择了三个标定试块用于检验：180 HV（低硬度范围）、480 HV（中硬度范围）和 720 HV（高硬度范围）。在这种情况下，必须检验三个试验力。最大试验力（5000gf）被用在低硬度范围标定试块上，并且最小试验力（1000gf）标尺被用于高硬度范围标定试块上，而中等试验力（3000gf）被用在低硬度范围或中等硬度范围的标定试块上。

**A1.4.7.7** 每一个标定的标定试块的实验面上，应测量至少5个均匀分布的压痕。用  $d_1, d_2, \dots,$

$d_5$  表示 5 个压痕对角线测量值， $\bar{d}$  为 5 个测量值的平均值。对于每一个待验的努氏和维氏硬度标尺的每一个硬度等级，使用第 A1.7 节中的等式 A1.1 和等式 A1.3 来测定试验机性能的重复性  $R_{ind}$  和误差 E。重复性  $R_{ind}$  和误差 E 应在表 A1.5 或表 A1.6 的公差范围内。

**A1.4.7.8** 如果使用用户的压头误差  $E$  或重复 $R_{nd}$ 超出规定的公差, 则可使用不同的压头重复间接检验测量。

**A1.4.7.9** 当试验机的重复性和误差的测量满足使用用户的压头规定的公差时, 应认可该间接检验。

**A1.4.8** 在间接检验之间的周期内如有必要替换压头, 则新的压头必须经过检与具体的试验机的使用情况。用户应遵照 A1.4.5 中给出的发现时状态的检验步骤进行检验。如果重复性 $R_{nd}$ 和误差  $E$  在表 A1.5 或表A1.6中公差范围内, 则压头可以使用。

**A1.4.9** 当标定试块硬度和试验力综合产生的压痕对角线长度小于  $20\ \mu\text{m}$ , 则不推荐使用标定的标定试块进行间接检验。在这些情况下, 压痕测量误差代表了对角线长度的主要部分。这可导致硬度值与规定值的实质偏差。这些误差的例子包含在第10节和表 5 和表 6 中。小试验力的微压痕硬度测试建议也可参阅附录X5。

**表 A1.5 试验机的重复性的误差——使用标定试块基于测量  
对角线长度的间接检验 (试验力 $\leq 1000\text{gf}$ )<sup>A</sup>**

标定试块 硬度范围		力, gf	重复性 $R_{nd}$ 最大值 (%)	误差 $E$ 最大值 (%) <sup>B</sup>
努氏 HK > 0	维氏 HV > 0	$1 \leq P < 100$	13	3
HK < 100	HV < 100	$100 \leq P \leq 1000$	13	3
$100 \leq \text{HK} \leq 250$	$100 \leq \text{HV} \leq 240$	$100 \leq P < 500$	13	2
$250 < \text{HK} < 650$	$240 < \text{HV} \leq 600$		5	2
HK > 650	HV > 600		4	2
$100 \leq \text{HK} \leq 250$	$100 \leq \text{HV} \leq 240$	$500 \leq P \leq 1000$	8	2
$250 < \text{HK} \leq 650$	$240 < \text{HV} \leq 600$		4	2
HK > 650	HV > 600		3	2

<sup>A</sup> 在所有场合, 如果 $d_{\max} - d_{\min} \leq 1\ \mu\text{m}$ , 重复性满足要求。

<sup>B</sup> 在所有场合, 如果等式 A1.2 计算的  $E$  值 $\leq 0.5\ \mu\text{m}$ , 误差满足要求。

**表 A1.6 试验机的重复性的误差——使用标定试块基于测量  
对角线长度的间接检验 (试验力 $> 1000\text{gf}$ )<sup>A</sup>**

标定试块 硬度范围	力, gf	重复性 $R_{nd}$ 最大值 (%)	误差 $E$ 最大值 (%) <sup>B</sup>
$\leq 100 \sim \leq 240$	> 1000	4	2
> 240 $\sim$ $\leq 600$	> 1000	3	2
> 600	> 1000	2	2

<sup>A</sup> 在所有场合, 如果 $d_{\max} - d_{\min} \leq 1\ \mu\text{m}$ , 重复性满足要求。

<sup>B</sup> 在所有场合, 如果等式 A1.2 计算的  $E$  值 $\leq 0.5\ \mu\text{m}$ , 误差满足要求。

## A1.5 每周检验

**A1.5.1** 每周检验是监测试验机在间接检验周期内性能的工具, 对于每一个将会使用的努氏和维氏硬度标尺, 每周检验至少应依照表 A1.1 中给出的计划进行。任何时候移动试验设备时, 应进行每周检验。

**A1.5.2** 建议在压头或试验力变化时进行每周检验。

**A1.5.3** 每周检验程序——当进行每周检验时，使用的程序如下：

**A1.5.3.1** 对于每一个即将使用的硬度标尺，应至少使用一个满足附录 A2要求的标定过的标定试块。当可买的标定试块时，选用的标定试块的硬度等级应基本上与将要测量的材料的硬度值一样。

**A1.5.3.2** 每周检验用的压头应为经常用于试验的压头。

**A1.5.3.3** 在进行每周检验之前，应确保试验机工作正常、试台和标定试块洁净并且测量装置有适当调整和调零。

**A1.5.3.4** 在每个检验用标定试块上读取至少 3 个读数。试验的位置应均匀地分布在标定试块表面。

**A1.5.3.5** 用  $\bar{d}$  表示测量值的平均。对于每一个测量的标定过的标定试块，使用等式 A1.3 来测定试验机性能中的误差 E。

**A1.5.3.6** 如果对每一个标定试块的计算的误差 E 在表 A1.5或表A1.6中给出的公差范围内，则带有压头的试验机可被认为性能方面是满足要求的。

**A1.5.3.7** 如果对任何标定试块的误差 E 的计算超出公差范围，则应遵循制造商的疑难解答建议，同时重复每周检验。如果对任何标定试块的硬度测量的平均值又一次超出公差范围，则应进行间接检验。

**A1.5.3.8** 无论何时试验机未能通过每周检验，则自最后一次有效的每周检验进行的硬度试验都可能是可疑的。

注 A1.7——强烈推荐但非可接受的统计过程控制技术来记录每周检验的结果，具体的例子有，但不限于全程X-条状图（测量平均值）以及R-图（测量范围）。

## A1.6 检验报告

**A1.6.1** 直接和间接检验都需要一份检验报告，每周检验不需要检验报告。

**A1.6.2** 检验报告应由检验人员出具并且包括以下信息（当进行的检验结果包含时）：

**A1.6.2.1** 引用本ASTM 试验方法。

**A1.6.2.2** 检验方法

**A1.6.2.3** 硬度试验机和使用压头的标识。

**A1.6.2.4** 检验工具（标定试块、弹性荷重检查器等）及可追溯至国家标准的声明。

**A1.6.2.5** 检验的努氏和维氏硬度标尺。

**A1.6.2.6** 用来确定试验机是否满足进行的检验要求时的单个结果或计算的结果。无论何时，报告都应包括为确定试验机发现时状态所进行的测量。

**A1.6.2.7** 描述对试验机进行的调整或维护。

**A1.6.2.8** 检验日期并指出检验机构或部门名称。

**A1.6.2.9** 检验员签名

## A1.7 重复性和误差计算示例

**A1.7.1** 努氏和维氏硬度试验机的重复性：

**A1.7.1.1** 试验机的重复性  $R_{ind}(\%)$ 通过以下等式计算：

$$R_{ind} = 100 \left( \frac{d_{\max} - d_{\min}}{\bar{d}} \right) \quad (\text{A1.1})$$

式中

$d_{\max}$  为 5 条对角线最长条的长度（或对角线长度平均值）；

$d_{\min}$  是 5 条对角线中最短条的长度；

$\bar{d}$  是对角线长度的平均值。

如果重复性能满足表 A1.5或表A1.6中给出的要求, 则该重复性是可接受的。

**A1.7.1.2** 以下是重复性计算的示例。假定在标定试块上压了 5 个努氏压痕, 标定试块公称硬度为 420HK, 试验力是合格的 300gf, 并且 5 个读数分别为  $d_1 = 103.9$ ,  $d_2 = 104.8$ ,  $d_3 = 102.3$ ,  $d_4 = 102.8$  和  $d_5 = 100.2 \mu\text{m}$ 。因此  $d_{\text{max}} - d_{\text{min}} = 104.8 - 100.2 = 4.6 \mu\text{m}$  并且  $R_{\text{ind}} = 100(4.6)/102.8 = 4.47\%$ 。依照表 A1.5, 硬度 >250HK 到 650 HK 的标定试块的重复性应  $\leq 5\%$ 。在该例子中, 该试验机满足该硬度标定试块和试验力的重复性要求。然而, 如果这些对角线是通过使用公称硬度为 700HK 在合格的 300gf 的试验力下获得的, 则重复性对于表 A1.5 要求的硬度 >650HK 的  $R_{\text{ind}} \leq 4\%$  的要求是不能满足的。

**A1.7.2** 努氏和维氏硬度试验机的误差:

**A1.7.2.1** 设备误差 E 计算公式如下

$$E = \bar{d} - d_s \quad (\text{A1.2})$$

误差百分比 %E, 使用以下等式计算:

$$\%E = 100 \left( \frac{\bar{d} - d_s}{d_s} \right) \quad (\text{A1.3})$$

式中  $\bar{d}$  为测量的对角线长度的平均值,  $\mu\text{m}$ ;

$d_s$  为报告的合格的对角线长平均值,  $\mu\text{m}$ 。

**A1.7.2.2** 合格的对角线平均值与测量的对角线平均值的误差不应超过表 A1.5 中规定的公差或  $\pm 0.5 \mu\text{m}$ , 取最大值。

**A1.7.2.3** 以下是基于 A1.7.1.2 中给出的数据进行误差计算的例子, 标定试块的合格的对角线长度平均值  $d_s$  为  $100.8 \mu\text{m}$  (420HK 300gf),  $\bar{d}$  应为  $102.8 \mu\text{m}$ ,  $(\bar{d} - d_s) = 102.8 - 100.8 = 2.0 \mu\text{m}$ 。因此,  $E = 1.98\%$ 。在这种情况下, 误差百分比满足最大为  $\pm 2\%$  要求, 该百分比大于  $\pm 0.5 \mu\text{m}$ 。对于此例子, 如果误差大于  $\pm 2\%$ , 则  $\bar{d} - d_s$  必须  $> \pm 2.016 \mu\text{m}$ 。

## A2. 努氏和维氏硬度试验机用标定试块的标定

### A2.1 范围

**A2.1.1** 本附录描述了用于检验努氏和维氏标尺鉴定用硬度试验机的标定硬度试块的加工、标定程序、均匀性、标记和检验。本附录也定义了标定实验室和标定设备的要求。

注 A2.1—在本 E384 版本发布之前标定过的试块才可认为是满足本版本的要求, 只要所进行的标定满足 E92.82 (2003) 或 E384-09 的所有要求。

### A2.2 资质

**A2.2.1** 试块标定的执行机构应为通过 ISO/IEC 17025 (或等效标准) 认证而获得国际实验室授权机构 (ILAC) 认证, 可按照 ISO/IEC 17011 要求操作的机构。标定实验室应具有授权证书/授权范围, 说明授权证书包含的努氏和维氏硬度刻度和试块标定可追溯的标准。

注 A2.2—从本标准的本版本开始, 授权证书是一个新要求。

### A2.3 标定试块的制造

**A2.3.1** 标定试块厚度应大于合格试验力压出的压痕深度的 20 倍。



**A2.3.2** 采用标定试块的材料和制造工艺过程应使标定试块获得要求的均质性、组织稳定性和表面硬度的均匀性。

**A2.3.3** 对于铁磁体标定试块，制造厂应进行消磁处理并且使用者应维持在这种无磁状态。

**A2.3.4** 标定试块支承面应经过细磨处理。支持面和试验平面度的最大偏差不应超过 $5\mu\text{m}$ 。平行度最大误差在 $30\text{mm}$ 内不应超过 $15\mu\text{m}$ 。

**A2.3.5** 标定试块的表面应依照方法 E3 中的步骤进行抛光来产生真实的显微组织，应无影响压痕成型或压痕对角线测量的划痕。实验面表面粗糙度的算术平均值不应超过 $0.1\mu\text{m}$  ( $4\mu\text{in.}$ )。

**A2.3.6** 对标定试块进行重新抛光将使标定变的无效并且是不推荐的。在正常使用中，经常需要清洗抛光的标定试块表面但必须不能改变抛光试验面的硬度或质量。

## A2.4 标定试验机要求

**A2.4.1** 标定试验机应满足附录 A1 要求外，还应满足以下附加要求：

**A2.4.2** 应按A1.3进行直接检验，检验周期不超过 12 个月。

**A2.4.3** 无论任何时候适用时，应使用可追溯到国家标准的试块执行间接检验。

注A2.3—来自NIST,Gaithersburg,MD 20899的主要标定试块都可适用作为标准仲裁材料。

**A2.4.4** 维氏压头应具有以下角度和公差。

**A2.4.4.1** 如果两面之间的夹角应为 $136^{\circ}0\pm6'$ 。作为一种可替代方法， $136^{\circ}$ 的面顶角可通过测量边缘之间的角度来检验。当测量时，边缘角度应为 $148^{\circ}6'36''\pm9'$ 。

**A2.4.4.2** 边缘角度对压头的轴线应当具有相同的倾斜率（误差在 $\pm 15'$ 以内）。作为一种替代方法，当测量边缘角度时，边缘角度对压头的轴线应具有相同的倾斜率（误差在 $\pm 30'$ 以内）。

**A2.4.4.3** 顶端横刃不应超过 $0.3\mu\text{m}$ ，见注 A1.4。

**A2.4.5** 努氏压头的压头常数应为 $0.07028 \pm 0.5\%$ ，顶端横刃不应超过 $0.5\mu\text{m}$ ，见注 A1.4。

**A2.4.6** 试验力随时间应介于 5 秒和 7 秒之间。试验力保持时间应介于 13 秒和15 秒之间。

**A2.4.7** 压痕测量装置应依照 A1.3.3 进行检验。读数装置与分级测微尺的读数偏差不应超过 $0.2\mu$  或 $0.25\%$ ，取最大值。

## A2.5 标定试块标定方法

**A2.5.1** 应在满足A2.4所有要求的努氏或维氏硬度试验机上执行硬度试块的标定。

**A2.5.2** 压 5 组压痕，其中一组位于标定试块四个分区的中心，第 5 组位于标定试块的中心。当压痕数量大于5组时，应按照相似方法环绕试验表面进行布置。

**A2.5.3** 调整测量系统的照明来在视场上形成均匀的光照强度并且优化压痕和标定试块表面的对比度（见附录 X1）。

**A2.5.4** 分别测量 25 个压痕的努氏对角线长度或维氏对角线长度的平均值。分组或分标定试块记录数据。

## A2.6 标定试块的重复性

**A2.6.1** 计算 5 组压痕中五个压痕的对角线平均或对角线平均值。

**A2.6.2** 压痕大小和硬度的重复性 R，是使用 A1.4.5.3中描述的方法用公式 A1.1计算的。计算所有 25 个对角线测量值的平均值或对角线平均值并确定 $d_{\text{max}}$ 和 $d_{\text{min}}$ ，分别为 25 个测量值的最长和最短值。虽然R受所有影响试验结果的变量影响，但 R 却是对标定试块硬度均质性的测量。

**A2.6.3** 表 A2.1和表A2.2列出了相应的压头类型、试验力范围和硬度范围对应的标定试块要求的最大 R 值。测量的 R 值必须小于这些限值才能被认为该标定试块硬度一致性足以作为标定试块使用。

## A2.7 标志

**A2.7.1** 每一个标定试块上应使用适当的标识序列号进行永久性标记并且在试验面上标记制造者名称/标志或厚度或鉴别标记。

**A2.7.2** 当标定试块被包覆在封固剂内时，A2.7.1 中包括的信息应永久性地标记在密封试验面的封固剂的表面。报告的试块厚度应为封固剂的厚度而非包覆的标定试块厚度。

**表 A2.1 标定试块标定对角线测量的重复性（微试验力范围 $\leq 1000\text{g}$ ）<sup>A</sup>**

标定试块硬度范围		力值, gf	R, %, <
努氏	维氏		
HK>0	HV>0	$1 \leq P < 100$	12
HK < 100	HV < 100	$100 < P \leq 1000$	12
$100 \leq \text{HK} \leq 250$	$100 \leq \text{HV} \leq 240$	$100 \leq P < 500$	12
$250 < \text{HK} \leq 650$	$240 < \text{HV} \leq 600$		4
HK > 650	HV > 600		3
$100 \leq \text{HK} \leq 250$	$100 \leq \text{HV} \leq 240$	$500 \leq P \leq 1000$	7
$250 < \text{HK} \leq 650$	$240 < \text{HV} \leq 600$		3
HK > 650	HV > 600		2

<sup>A</sup> 在任何情况下，重复性极限为给出的百分比的最大值或  $0.001\text{mm}(1\mu\text{m})$ 。

**表 A2.2 标定试块标定对角线测量的重复性（显试验力范围 $> 1000\text{g}$ ）<sup>A</sup>**

标定试块硬度范围	力值, kgf	R最大值, %
100~240, 包括240	>1	3
240~800, 包括800	>1	2
大于800	>1	1.5

<sup>A</sup> 在任何情况下，重复性极限为给出的百分比的最大值或  $0.001\text{mm}(1\mu\text{m})$ 。

**A2.7.3** 每个校准测量值应识别标记，以使得其能被用户查找到。

## **A2.8 标定试块合格证书**

**A2.8.1** 每一个标定试块附带的合格证书应至少包括以下信息：（见注A2.1）

**A2.8.1.1** 所有标定压痕的尺寸和位置；

**A2.8.1.2** 所有压痕对角线的算术平均值和相对应硬度值；

**A2.8.1.3** 试验力；

**A2.8.1.4** 试块序列号；

**A2.8.1.5** 制造商和标定机构的名称；

**A2.8.1.6** 标定压痕测量用放大倍数；

**A2.8.1.7** 标定日期；

**A2.8.1.8** 引用本ASTM试验方法；

**A2.8.1.9** 标定值的不确定度值，含有如何计算不确定度的说明；

**A2.8.1.10** 授权机构证书编号。

## 附录

### (非强制性信息)

#### X1. 柯勒照明系统的调整

**X1.1** 有些光学系统是永久对准的，而其他的光学系统会提供可微调的工具。为了获得最佳的分辨率，操作者应做以下调整：

**X1.1.1** 聚焦平坦的抛光的试样表面与临界锐度。

**X1.1.2** 居中照射光源。

**X1.1.3** 将视场与孔径光阑中心对齐。

**X1.1.4** 打开视场光阑以便其在视场上消失。

**X1.1.5** 移除目镜并检查物镜的后焦平面，如果所有的零件都在其适当的位置上，则照射光源和孔径光阑将出现锐聚焦。

**X1.1.6** 为了获得最大分辨率，最好全开孔径光阑。如有多余的眩光，关小孔径光阑，但永远不要使用小于 3/4 的孔径开口，因为分辨率会降低并且散射现象会导致错误的读数。

**X1.1.7** 如果光线太强而使眼觉得不舒服，采用自然密度的滤光片或变阻控制来降低强度。

#### X2. 实验室间显微压痕硬度试验数据的相关性

##### X2.1 范围

**X2.1.1** 本程序为来自两个或更多实验室的显微压痕硬度试验数据的对比提供了指南。

##### X2.2 关联方法

**X2.2.1** 所有的实验室应首先确定他们的试验仪器满足试验方法 E 384 中的要求。

**X2.2.2** 在试样被送到协作实验室来进行试样制备和试验之前，应从较大试样的临近区域取样。

**X2.2.3** 用于显微压痕硬度试验的试样制备应由一两个或更多的实验室使用基本相同的步骤来完成。如果试样能被制备成金相试样，制定的 ASTM 程序在实验室间应保持如下的一致性：

**X2.2.3.1** 显微压痕硬度试验面应相同。这是为了在考虑特征时确保纹理方向（晶粒方向）。

**X2.2.3.2** 试样的表面准备应依照方法 E3。

**X2.2.4** 所有的实验室应使用符合 A13.3 的分级测微尺校准他们的试验仪器的光学系统。

**X2.2.5** 为了避免因纹理方向和压痕方向不同而导致偏差，压痕与纹理方向应一致。

**X2.2.6** 在进行试验前，应确定压痕测量的方法。仪器制造厂描述的方法应为最精确的方法。

**X2.2.7** 应确定压痕最小数日。数日应符合可接受的依照操作规程 E122 的分析统计方法。

**X2.2.8** 每一个试样压痕和测量应由制备试样的实验室完成，然后连同数据送到其他实验室进行试验。

**X2.2.8.1** 试样交换后，每一个实验室应使用初始测量相同的方式测量并记录初始实验室压出的压痕。

**X2.2.8.2** 在将数据和试样送给其他实验室之前，每一个实验室然后应依照 X2.2.5 和 X2.2.6 中规定的操作重复压痕和测量步骤。

**X2.2.8.3** 每一个实验室应从他们制备的试样上测定一组显微压痕硬度值，并且通过压痕和测量测定由其他实验室制备的试样的一组数据。

**X2.2.9** 所有的数据然后都要使用相同的可接受的统计方法进行分析来确定实验室间测量数据一致性的极限值。至少应推算出以下统计数据：

**X2.2.9.1** 平均值， $\bar{X}$ ；

**X2.2.9.2 标准偏差 $\sigma$ :****X2.2.9.3 平均值的标准偏差,  $\sigma/\bar{X}$ .****X2.3 仲裁**

**X2.3.1** 如果实验室通过该程序不能确定一个可接受的关联性, 则有必要引入一个独立的实验室作为仲裁实验室。

**X3. 微压痕测量的实验室间测试结果****X3.1 介绍**

**X3.1.1** 本实验室间测试项目的进行是为了确定努氏和维氏压痕测量的精密度和偏差估计值, 努氏和维氏压痕使用 25gf 到 1000 gf 的试验力, 用于测量代表较大硬度范围的铁质和非铁质试样。

**X3.2 范围**

**X3.2.1** 本实验室间测试项目为不同实验室依照规程 E691 的程序测量同一压痕提供了信息。

**X3.3 步骤**

**X3.3.1** 在受控条件下使用 5 个试验力 (25, 50, 100, 200, 500, 和 1000 gf) 使用努氏和维氏压头, 在 3 个铁质试样和 4 个非铁质试样上压出 5 个压痕。

**X3.3.2** 12 个实验室测量铁质试样和非铁质试样上的压痕。2 个实验室测量了两组试样的硬度。

**X3.3.3** 每个实验室使用相同的分级测微尺来校准他们的测量装置。

**X3.3.4** 依照规程 E691 将测试结果列表并分析。

**X3.4 结果**

**X3.4.1** 对于 3 个铁质试样, 9 个实验室的测试结果显示对角线长度基本一致。2 个实验室对压痕大小的测量一直偏低并且 1 个实验室对压痕大小的测量一直偏高该偏差对维氏和努氏压痕都进行了观测, 这些实验室的测量偏差会随压痕尺寸减小和试样硬度增加而增加。在 4 个非铁质试样上的测试结果基本一致, 但测量铁质试样有误差的 3 个实验室没有进行非铁质试样的测量。

**X3.4.2** 对于维氏试验数据, 计算的硬度值会随试验力的增加而增加, 随后会变的相当稳定。该趋势在 9 个实验室 (铁质试样) 的数据中是十分明显的并且对于压痕测量尺寸偏大的实验室也很明显。维氏压痕尺寸测量一直偏大的 2 个实验室使用的试验力小于 100 gf 时, 测试结果会呈现出数据分散性。然而, 对于较大的试验力, 他们对压痕的测量数值却有十分稳定。硬度值变的相对稳定时的试验力会随试样硬度的增加而增加。对于硬度小于约 300 HV 的试样, 在整个试验力范围内, HV 值的偏差是相当小的。

**X3.4.3** 对于努氏测试数据, 大多数实验室同意硬度会随增加的试验力而持续增加并且随后变得相当稳定。然而, 针对铁质试样显示出离群数值的 2 实验室却显示出相反的趋势, 这是相当不寻常的。小试验力与大试验力之间的 HK 值的偏差会随试样的硬度增加而增加。对于硬度小于 300HK 的试样, 在整个试验力范围内, 硬度偏差是非常小的。

**X3.4.4** 重复性—实验室内相同材料上的两测试结果之间的试验误差导致的偏差是使用  $(S_e)_{ij}$ , 实验室间合并标准差计算的。 $(S_e)_{ij}$  随对角线的长度增加而增加并且这种关系对于每种材料和试验类型是不同的。表 X3.1 列出了显示  $(S_e)_{ij}$  和对角线长度  $\mu\text{m}$  之间关系的回归方程。重复性  $I(1)_{ij}$  是基于表 X3.1 中的关系计算的。因为重复性也是对角线长度的函数, 也计算了回归方程式, 表 X3.2 铁质和非铁质试样的努氏和维氏硬度值的重复性如图 X3.1-X3.4 所示。

**X3.4.5** 再现性—不同实验室内相同材料上的测试见过的偏差使用  $(S_R)_{ij}$  值, 实验室间精密度

估计值来计算。 $(S_{Rj})$  随对角线的长度增加而增加并且这种关系对于每种材料和试验类型是不同的。表 X3.3 列出了显示 $(S_{Rj})$  和对角线长度  $\mu\text{m}$  之间关系的回归方程。再现性 $(I_{Rj})$  是基于表 X3.3 中所示关系计算的。因为再现性也是对角线长度的函数，也计算了回归方程式，表 X3.4。铁质和非铁质试样的努氏和维氏硬度值的再现性如图 X3.1-X3.4 所示。

**X3.4.6** 实验室内和实验室间的精密度值由  $(V_r(\%))_j$  和  $(V_L(\%))_j$  计算得到， $(V_r(\%))_j$  和  $(V_L(\%))_j$  为实验室内和实验室间试验的变异系数。两者都为对角线长度的函数。对于维氏和努氏试验数据，铁质或非铁质试样，实验室内和实验室间的精密度值相对类似的。重复性和再现性通常大于精密度估计值，尤其在小试验力和高试样硬度的条件下。

**表 X3.1 对角线长度和 $(S_{Rj})$  之间的关系，实验室间的合并标准差**

材料	试验	回归方程	修正系数
铁质	维氏	$(S_{Rj})=0.231+0.00284 \bar{d}_1$	0.535
铁质	努氏	$(S_{Rj})=0.216+0.006 \bar{d}_1$	0.823
非铁质	维氏	$(S_{Rj})=0.373+0.008 \bar{d}_1$	0.862
非铁质	努氏	$(S_{Rj})=0.057+0.0177 \bar{d}_1$	0.8196

**表 X3.2 对角线长度和 $(I_{rj})$  之间的关系，重复性**

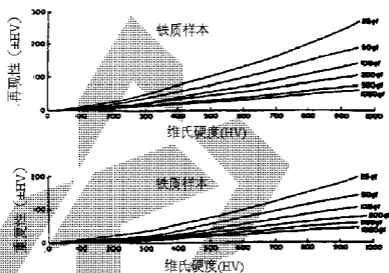
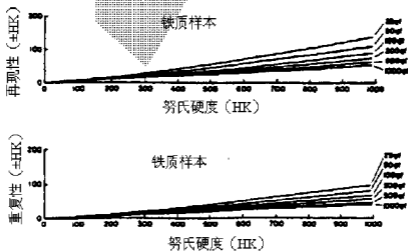
材料	试验	回归方程
铁质	维氏	$(I_{rj})=0.653+0.008 \bar{d}_1$
铁质	努氏	$(I_{rj})=0.614+0.017 \bar{d}_1$
非铁质	维氏	$(I_{rj})=1.0556+0.0226 \bar{d}_1$
非铁质	努氏	$(I_{rj})=0.161+0.05 \bar{d}_1$

**表 X3.3 对角线长度和 $(S_{Rj})$  之间的关系，实验室间的精密度估计值**

材料	试验	回归方程	修正系数
铁质	维氏	$(S_{Rj})=0.31+0.004 \bar{d}_1$	0.747
铁质	努氏	$(S_{Rj})=0.333+0.007 \bar{d}_1$	0.899
非铁质	维氏	$(S_{Rj})=0.357+0.0156 \bar{d}_1$	0.8906
非铁质	努氏	$(S_{Rj})=0.378+0.0177 \bar{d}_1$	0.8616

表X3.4 对角线长度和( $I_{Rj}$ ) 之间的关系, 重复性

材料	试验	回归方程
铁质	维氏	$(I_{Rj})=0.877+0.0113 \bar{d}_1$
铁质	努氏	$(I_{Rj})=0.946+0.0198 \bar{d}_1$
非铁质	维氏	$(I_{Rj})=1.0103+0.0441 \bar{d}_1$
非铁质	努氏	$(I_{Rj})=1.07+0.05 \bar{d}_1$

图X3.1 作为试验力和试样硬度函数的铁质试样维氏硬度 ( $\pm$ ) 的重复性和再现性图 X3.2 作为试验力和试样硬度函数的铁质试样努氏硬度 ( $\pm$ ) 的重复性和再现性

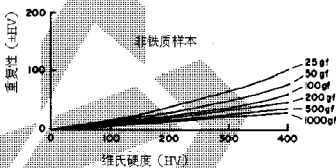
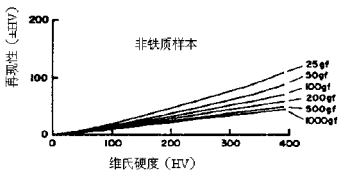


图 X3.3 作为试验力和试样硬度函数的非铁质试样维氏硬度 (±) 的重复性和再现性

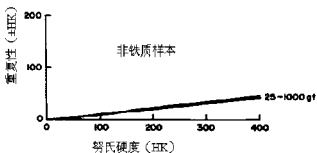
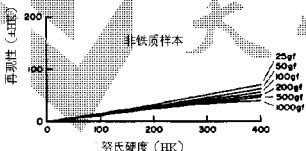


图 X3.4 作为试验力和试样硬度函数的非铁质试样努氏硬度 (±) 的重复性和再现性

## X4. 使用手动或自动测量系统的微压痕硬度试验的实验室间试验对比结果

### X4.1 介绍

X4.1.1 有进行实验室间试验项目来开发使用自动图像分析系统和手动程序的努氏和维氏微压痕硬度试验之间的对比方面的信息。在实验室间试验中使用了四个铁质试样。

### X4.2 范围

X4.2.1 本实验室间测试项目为不同实验室依照规程 E691 的程序的两种不同测定方法测量同一压痕提供了信息。

### X4.3 步骤

X4.3.1 试验在受控条件下使用 100gf 和 300gf 的试验力进行的。使用每个试验力压了 10 个努氏和 10 个维氏压痕，总共压痕数为 40。该试验项目的参与者测量了 4 个试样上相同的压痕。7 个实验室使用两种程序测量了试样。这 7 组测量结果被用于分析。试样 C1 上的努氏压痕对 1 个实验室太长了而无法测量，因此，该试样上仅进行了 6 组数据测量。在试验项目将要结束时，试样 B1 在运输过程中丢失，因此该试样上仅进行了 6 组测量。

### X4.4 重复性

X4.4.1 重复性与在同一实验室由同一操作者使用规定的试验仪器获得的相互独立的测试结果之间的可变性有关。对于手动或自动测量，重复性会随试样硬度增加和试验力的增加而增加，见表 X4.1-X4.4 和图 X4.1-X4.4。在等效的测试条件下，自动测量的重复性值会稍微大于手动测量的重复性值。

### X4.5 再现性

X4.5.1 再现性与不同实验室采用相同的试验方法，使用相同或类似的试样获得的独立的测量结果之间的可变性有关。对于手动或自动测量，再现性会随试样硬度增加和试验力的增加而增加，见表 X4.1-X4.4 和图 X4.1-X4.4。在等效的测试条件下，自动测量的再现性值会稍微大于手动测量的再现性值。

### X4.6 对比

X4.6.1 规程 E691 或其他任何 ASTM 标准论述的是通过两种不同的试验方法来对比单个属性的试验结果。因此，是不可能对手动或自动程序的硬度测量值进行统计学或准确地对比。然而，这些信息可绘制成图用作对比之目的，图 X4.5-X4.8。

表 X4.1 100gf 试验力下手动和自动的努氏硬度试验精密度统计

手动							
标准	实验室	平均值	Sx	Sr	SR	r	R
C1	7	228.62	6.88	9.30	11.18	26.03	31.32
D1	7	344.80	10.54	9.80	14.06	27.44	39.36
A2	7	491.48	28.67	14.87	31.95	41.63	89.45
B1	6	901.67	62.40	21.17	65.55	59.28	183.55
自动							
标准	实验室	平均值	Sx	Sr	SR	r	R
C1	7	232.07	7.29	9.54	11.62	26.72	32.55
D1	7	348.97	10.74	9.54	14.04	26.70	39.32
A2	7	510.13	30.35	19.53	35.56	54.69	99.56
B1	6	914.72	57.82	29.22	64.13	81.83	179.56



表 X4.2 300gf 试验力下手动和自动的努氏硬度试验精密度统计

手动							
标准	实验室	平均值	Sx	Sr	SR	r	R
C1	7	215.81	5.49	7.66	9.10	21.44	25.49
D1	7	330.64	6.99	7.49	9.97	20.98	27.92
A2	7	466.95	17.99	11.45	21.02	32.06	58.85
B1	6	827.47	20.41	16.13	25.51	45.16	71.43
自动							
标准	实验室	平均值	Sx	Sr	SR	r	R
C1	6	217.82	5.73	6.87	8.68	19.24	24.31
D1	7	335.76	12.23	8.22	14.50	23.03	40.61
A2	7	476.97	23.46	10.56	25.51	29.58	71.44
B1	6	821.0	24.62	10.89	26.70	30.50	74.76

表 X4.3 100gf 试验力下手动和自动的维氏硬度试验精密度统计

手动							
标准	实验室	平均值	Sx	Sr	SR	r	R
C1	7	205.31	6.36	6.82	9.07	19.10	25.40
D1	7	299.52	6.07	7.65	9.46	21.43	26.50
A2	7	482.76	21.58	12.29	24.53	34.42	68.69
B1	6	821.56	46.01	24.02	51.35	67.25	143.77
自动							
标准	实验室	平均值	Sx	Sr	SR	r	R
C1	7	203.30	6.94	6.47	9.27	18.12	25.95
D1	7	299.78	14.36	5.23	15.19	14.63	42.54
A2	7	482.86	32.07	16.50	35.69	46.19	99.93
B1	6	808.17	47.72	21.30	51.82	59.63	145.09

表 X4.4 300gf 试验力下手动和自动的维氏硬度试验精密度统计

手动							
标准	实验室	平均值	Sx	Sr	SR	r	R
C1	7	197.07	3.40	5.32	6.09	14.91	17.06
D1	7	298.91	5.47	7.38	8.89	20.68	24.89
A2	7	474.58	18.00	12.45	21.53	34.86	60.28
B1	6	810.60	29.67	16.50	33.55	46.21	93.94
自动							
标准	实验室	平均值	Sx	Sr	SR	r	R
C1	7	196.37	6.44	5.57	8.33	15.60	23.32
D1	7	297.88	10.42	6.69	12.20	18.72	34.15
A2	7	483.72	18.96	12.30	22.26	34.44	62.34
B1	6	809.55	20.55	11.60	23.31	32.49	65.27

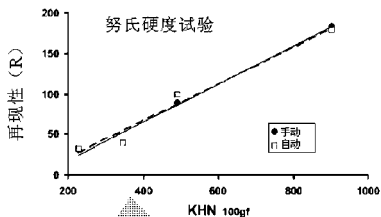


图 X4.1 100gf 试验力下手动和自动努氏显微压痕硬度试验的再现性

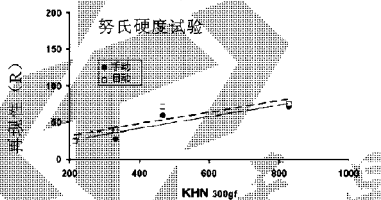


图 X4.2 300gf 试验力下手动和自动努氏显微压痕硬度试验的再现性

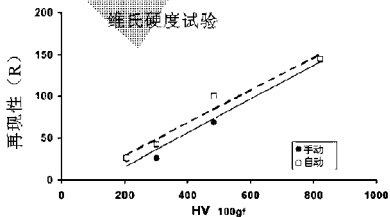


图 X4.3 100gf 试验力下手动和自动维氏显微压痕硬度试验的再现性

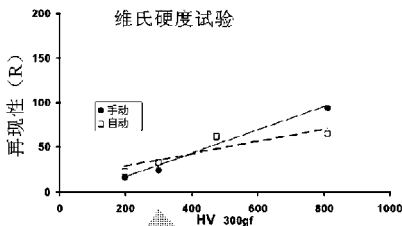


图 X4.4 300gf 试验力下手动和自动维氏显微压痕硬度试验的再现性

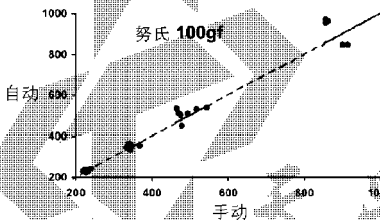


图 X4.5 100gf 试验力下手动和自动努氏显微压痕硬度试验的对比

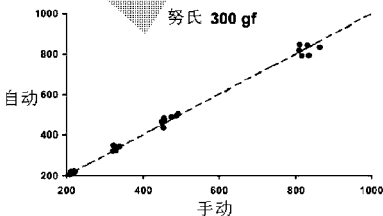


图 X4.6 300gf 试验力下手动和自动努氏显微压痕硬度试验的对比

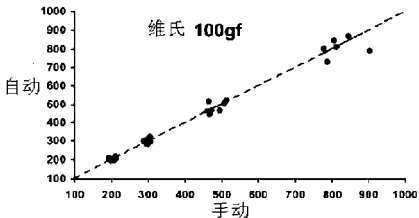


图 X4.7 100gf 试验力下手动和自动维氏显微压痕硬度试验的对比

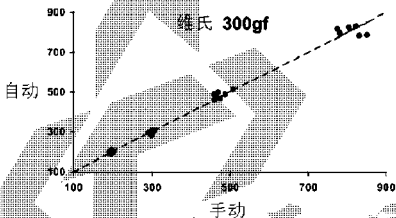


图 X4.8 300gf 试验力下手动和自动维氏显微压痕硬度试验的对比

## X5. 小试验力显微压痕硬度试验的建议

### X5.1 介绍

**X5.1.1** 材料的显微压痕硬度可通过使用不同的试验力将压头压入试件来测定。当使用的试验力压出的压痕对角线长度小于  $20\ \mu\text{m}$ ，则试验被认为是小试验力试验。努氏和维氏硬度值都会随压痕对角线长度平方的倒数以一定比例增加，见等式 3 和 7，因此从对角线测量长度小于  $20\ \mu\text{m}$  的压痕获得的硬度值与从较大压痕获得的硬度值相比会对于实际对角线测量中的微米的十分之几的变化特别敏感，见等式 13 和 17。压出有效的压痕并且对其对角线进行精确测量会随压痕变的越小而变的更为必要。例如，考虑一种维氏硬度为 500 的材料（见表5），对于 100gf 的试验力，对角线长度将会为  $19.258\ \mu\text{m}$ 。为了维持  $\pm 1\%$  的误差，对角线测量精度必须  $\leq 0.096\ \mu\text{m}$ 。相似地，对于努氏硬度值为 500 的材料，当使用 20gf 的试验力时，理想的对角线长度为  $23.86\ \mu\text{m}$ ，见表6。为了维持  $\pm 1\%$  的误差，对角线测量精度必须  $\leq 0.12\ \mu\text{m}$ 。测量的这种精度水平对光学显微镜是不可能达到的。由于对角线长度小于  $20\ \mu\text{m}$  压痕的获得及测量有关的固有的困难，小试验力显微压痕硬度试验除正常要求外还需要附加的预防措施。小压痕可能是由较高的试件硬度或使用较小的试验力引起的。在这种情况下，在附录中论述了与硬度测量结果精度有关的一些关切的问题。

### X5.2 范围

**X5.2.1** 这些建议为压痕对角线长度小于 20  $\mu\text{m}$  的微压痕硬度试验提供了指导和建议了附加注意事项。

### **X5.3 环境**

#### **X5.3.1 振动:**

**X5.3.1.1** 在小试验力试验过程中,微压痕硬度试验机的振动能导致对角线测量值的大比例增加。合理的精度和精密度只能在试验过程中尽可能地隔绝试验仪器的振动才能达到。必须使用减震台避免试验仪器周围的空气振动,例如气流和嘈杂的噪音。

**X5.3.1.2** 建议不要将试验仪器安放在建筑物一层楼以上的地方,因为振动的增加通常发生在上层楼面上。试验仪器应远离可产生低频(<20 Hz)振动的机器,因为低频振动更容易通过减震台传播。

**X5.3.2** 水平状况—为了获取有用的信息,微压痕硬度试验机必须水平。由轻微不水平导致的误差会随试验力的增加而变的重要。

**X5.3.3** 温度—应考虑控制试样、试验仪器和周外区域的温度。建议将这些温度维持在  $23 \pm 3^\circ\text{C}$ 。随着被测对角线程度的减小,有必要加强对温度的控制来降低变异性。

### **X5.4 试样**

#### **X5.4.1 试样制备:**

**X5.4.1.1** 通常,试件需要安装。必须小心以确保试样在衬固材料中支撑良好并且实验面的放置与试验仪器的加载和光学系统轴垂直。

**X5.4.1.2** 试样的表面特性不能因试样制备而改变。金相抛光,当适用时,应使用接受的已知可减少试样表面上残余变形层的技术。轻度抛光后可使用光蚀来进一步降低任何变形层的厚度。电解抛光可使因试样表面准备引起的变形基本消失。在用来测量压痕对角线的显微镜的聚焦视场中的试验区域必须平坦。

**X5.4.1.3** 实验面应尽可能地洁净。必须注意避免表面污染,污染物可能吸入到某些材料的表面,例如:聚合物或陶瓷。

**X5.4.2** 试样的显微组织—如果试件材料的显微组织与压痕对角线长度在相同的标尺上,则会产生硬度值偏差的增加。压入单晶粒材料的压痕将会遇到变形阻力,某些程度上取决于晶体相对于实验面的方向。由于这些方向通常是随机的,试验结果的变异性就会增加。压痕对角线长度会因压痕压过的晶界数量而有所不同。多相材料体系将会提供与压头变形体积内包括的每相的体积百分比成一定比例的压痕对角线长度。在以上情况下,有必要增加测量次数来提供有意义的结果。

### **X5.5 仪器**

**X5.5.1** 显微镜放大倍数—传统的使用光学系统的微压痕硬度试验机能提供高达800 倍的放大效果。当进行低试验力试验时,推荐较高的放大倍数。压痕操作完成后试样可能会从试验仪器上卸除并且压痕的对角线会使用单独的高质量的能提供较高放大倍数的光学显微镜或扫描电镜测量。

**X5.5.2** 显微镜的光学质量—推荐使用数字孔径等于或大于 0.9 的物镜。采用暗视场照明或不同的干涉对比可改善图像的对比度并且也可使使用者有能力测量压痕的顶端。

**X5.5.3** 对角线测量装置—使用的测量技术和装置的测量误差应能达到 0.1 $\mu\text{m}$  或更小。在某些情况下,最好先获得压痕的显微照片并且测量显微照片中看到的对角线长度。在所有情况下,放大和测量系统的校准都是有必要的。

**X5.5.4** 试验力的精确度—通常情况下,较小的压痕对角线程度是由于使用了非常小的试验力,在很多情况下小于 10g。依照 A1.2 要求 $\pm 1.5\%$ 的试验力精度。对于小试验力,这需要不存在油、灰尘或其他轻微污染物。例如,当使用 2.0g 的试验力时,污染物的总质量超过 0.02g,将导致试验结果变的无效。

**X5.5.5 加载速度**—当使用小试验力时，压头在试件表面上的冲击能导致严重的不准确度的发生，推荐使用仪器现有的最低的加载速度。

**X5.5.6 压头**—较大的重复性值、精确度及精密性可通过仔细挑选压头来获得。检验两面之间的顶角、顶端横刃及边缘锐度为选择压头适用的标准。使用制造厂的合格证明，应计算确切的压头常数并用其来减少误差等式 14, 18 和 19。

## X5.6 压痕的测量

**X5.6.1** 对于对角线测量，不对称的压痕应视为无效。对称度偏差超过 10% 应给予处理。如有持续获得不对称性压痕，应调整试样与压头的对齐装置。如果问题依旧，微压痕硬度仪器应由合格的技术人员给予处理。

## X5.7 扫描电子显微镜

**X5.7.1** 使用扫描电子显微镜测量压痕对角线是有可能的。然而，对确切的放大倍数时的 SEM 投影影像进行仔细校准是十分重要的。对于这些测量，试样应当与光束垂直，即倾斜角度为 0°。加速电压和其他参数应保持在标定时状态。（参照规范 E 766，SEM 应校准 X 和 Y 两个方向）将要测量的压痕不能超越 SEM 视场范围，因为视频信号会在成像装置边缘发生扭曲。

## X5.8 视频和自动测量系统

**X5.8.1** 典型的视频或计算机测量系统在压痕对角线长度小于 20 μm 时缺少为获得可接受结果的必要的分辨率。数字化图像中的分辨率丢失会导致测量精度的降低。当测量系统装有超高分辨率的摄像机和现象装置时，分辨率是可能足以提供精确结果的。

## X6. 1gf 试验力的 HK 和 HV 值

**X6.1** 1gf 试验力下努氏硬度值参照表 X6.1, 1gf 试验力下维氏硬度值参照表 X6.2。

表 X6.1 1gf 试验力下努氏硬度值

压痕对角线长度, μm	对角线表示的努氏硬度值, 测量精确到 0.1μm									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
1	14230	11760	9881	8420	7260	6324	5558	4924	4392	3942
2	3557	3227	2940	2690	2470	2277	2105	1952	1815	1692
3	1581	1481	1390	1307	1231	1162	1098	1039	985.4	935.5
4	889.3	846.5	806.6	769.5	735.0	702.7	672.4	644.1	617.6	592.6
5	569.2	547.1	526.2	506.2	488.0	470.4	453.7	437.9	423.0	408.8
6	395.2	382.4	370.2	358.5	347.4	336.8	326.7	317.0	307.7	298.9
7	290.4	282.3	274.5	267.0	259.8	253.0	246.3	240.0	233.9	228.0
8	222.3	216.9	211.6	206.5	201.7	196.9	192.4	188.0	183.7	179.6
9	175.7	171.8	168.1	164.5	161.0	157.7	154.4	151.2	148.2	145.2
10	142.3	139.5	136.8	134.1	131.6	129.1	126.6	124.3	122.0	119.8
11	117.6	115.5	113.4	111.4	109.5	107.6	105.7	103.9	102.2	100.5
12	98.81	97.19	95.60	94.05	92.54	91.07	89.63	88.22	86.85	85.51
13	84.20	82.91	81.66	80.44	79.24	78.07	76.93	75.81	74.72	73.65
14	72.60	71.57	70.57	69.58	68.62	67.68	66.75	65.85	64.96	64.09
15	63.24	62.40	61.59	60.78	60.00	59.23	58.47	57.73	57.00	56.28
16	55.58	54.89	54.22	53.55	52.90	52.26	51.64	51.02	50.41	49.82
17	49.24	48.66	48.10	47.54	47.00	46.46	45.94	45.42	44.91	44.41
18	43.92	43.43	42.96	42.49	42.03	41.57	41.13	40.69	40.26	39.83
19	39.42	39.00	38.60	38.20	37.81	37.42	37.04	36.66	36.29	35.93
20	35.57	35.22	34.87	34.53	34.19	33.86	33.53	33.21	32.89	32.57
21	32.27	31.96	31.66	31.36	31.07	30.78	30.50	30.22	29.94	29.67
22	29.40	29.13	28.87	28.61	28.36	28.11	27.86	27.61	27.37	27.13
23	26.90	26.67	26.44	26.21	25.99	25.77	25.55	25.33	25.12	24.91
24	24.70	24.50	24.30	24.10	23.90	23.71	23.51	23.32	23.14	22.95
25	22.77	22.59	22.41	22.23	22.05	21.88	21.71	21.54	21.38	21.21
26	21.05	20.89	20.73	20.57	20.42	20.26	20.11	19.96	19.81	19.66
27	19.52	19.37	19.23	19.09	18.95	18.82	18.68	18.54	18.41	18.28

表 X6.1 (续)

压痕对角线长度, $\mu\text{m}$	对角线表示的努氏硬度值, 测量精确到 $0.1\mu\text{m}$									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
28	18.15	18.02	17.23	17.77	17.64	17.52	17.40	17.27	17.15	17.04
29	16.92	16.80	16.89	16.57	16.46	16.35	16.24	16.13	16.01	15.92
30	15.81	15.71	15.60	15.60	15.40	15.30	15.20	15.10	15.00	14.90
31	14.81	14.71	14.62	14.52	14.43	14.34	14.25	14.16	14.07	13.98
32	13.90	13.81	13.72	13.64	13.55	13.47	13.39	13.31	13.23	13.15
33	13.07	12.99	12.91	12.83	12.75	12.68	12.60	12.53	12.45	12.38
34	12.31	12.24	12.17	12.09	12.02	11.95	11.89	11.82	11.75	11.68
35	11.62	11.55	11.48	11.42	11.35	11.29	11.23	11.16	11.10	11.04
36	10.98	10.92	10.86	10.80	10.74	10.68	10.62	10.56	10.51	10.45
37	10.39	10.34	10.28	10.23	10.17	10.12	10.06	10.01	9.958	9.906
38	9.854	9.802	9.751	9.700	9.650	9.600	9.550	9.501	9.452	9.403
39	9.355	9.307	9.260	9.213	9.166	9.120	9.074	9.028	8.983	8.938
40	8.893	8.849	8.805	8.761	8.718	8.675	8.632	8.590	8.548	8.506
41	8.465	8.423	8.383	8.342	8.302	8.262	8.222	8.183	8.144	8.105
42	8.066	8.028	7.990	7.952	7.915	7.878	7.841	7.804	7.768	7.731
43	7.695	7.660	7.624	7.589	7.554	7.520	7.485	7.451	7.417	7.383
44	7.350	7.316	7.283	7.250	7.218	7.185	7.153	7.121	7.090	7.058
45	7.027	6.996	6.965	6.934	6.903	6.873	6.843	6.813	6.783	6.754
46	6.724	6.695	6.666	6.638	6.609	6.581	6.552	6.524	6.497	6.469
47	6.441	6.414	6.387	6.360	6.333	6.306	6.280	6.254	6.228	6.202
48	6.176	6.150	6.125	6.099	6.074	6.049	6.024	6.000	5.975	5.951
49	5.926	5.902	5.878	5.854	5.831	5.807	5.784	5.761	5.737	5.714
50	5.692	5.669	5.646	5.624	5.602	5.579	5.557	5.536	5.514	5.492
51	5.471	5.449	5.428	5.407	5.386	5.365	5.344	5.323	5.303	5.282
52	5.262	5.242	5.222	5.202	5.182	5.162	5.143	5.123	5.104	5.085
53	5.065	5.046	5.027	5.009	4.990	4.971	4.953	4.934	4.916	4.898
54	4.880	4.862	4.844	4.826	4.808	4.790	4.773	4.756	4.738	4.721
55	4.704	4.687	4.670	4.653	4.636	4.619	4.603	4.586	4.570	4.554
56	4.537	4.521	4.505	4.489	4.473	4.457	4.442	4.426	4.410	4.395
57	4.379	4.364	4.349	4.334	4.319	4.304	4.289	4.274	4.259	4.244
58	4.230	4.215	4.201	4.188	4.172	4.158	4.144	4.129	4.115	4.102
59	4.088	4.074	4.060	4.046	4.033	4.019	4.006	3.992	3.970	3.966
60	3.952	3.939	3.926	3.913	3.900	3.887	3.875	3.862	3.849	3.837
61	3.821	3.811	3.799	3.787	3.774	3.762	3.750	3.738	3.726	3.714
62	3.702	3.690	3.678	3.666	3.654	3.643	3.631	3.619	3.608	3.596
63	3.585	3.574	3.562	3.551	3.540	3.529	3.518	3.507	3.496	3.485
64	3.474	3.463	3.452	3.442	3.431	3.420	3.410	3.399	3.389	3.378
65	3.368	3.357	3.347	3.337	3.327	3.317	3.306	3.296	3.286	3.276
66	3.267	3.257	3.247	3.237	3.227	3.218	3.208	3.198	3.189	3.179
67	3.170	3.160	3.151	3.142	3.132	3.123	3.114	3.105	3.095 <sup>A</sup>	3.086
68	3.077	3.068	3.059	3.050	3.041	3.032	3.024	3.015	3.006	2.997
69	2.989	2.980	2.971	2.963	2.954	2.946	2.937	2.929	2.921	2.912
70	2.904	2.896	2.887	2.879	2.871	2.863	2.855	2.846	2.839	2.831
71	2.823	2.815	2.807	2.799	2.791	2.783	2.776	2.768	2.760	2.752
72	2.745	2.737	2.730	2.722	2.715	2.707	2.700	2.692	2.685	2.677
73	2.670	2.663	2.656	2.648	2.641	2.634	2.627	2.620	2.613	2.605
74	2.598	2.591	2.584	2.577	2.571	2.564	2.557	2.550	2.543	2.536
75	2.530	2.523	2.516	2.509	2.503	2.496	2.490	2.483	2.476	2.470
76	2.463	2.457	2.451	2.444	2.438	2.431	2.425	2.419	2.412	2.406
77	2.400	2.394	2.387	2.381	2.375	2.369	2.363	2.357	2.351	2.345
78	2.339	2.333	2.327	2.321	2.315	2.309	2.303	2.297	2.292	2.286
79	2.280	2.274	2.268	2.263	2.257	2.251	2.246	2.240	2.234	2.229
80	2.223	2.218	2.212	2.207	2.201	2.196	2.190	2.185	2.179	2.174
81	2.169	2.163	2.158	2.153	2.147	2.142	2.137	2.132	2.127	2.121
82	2.116	2.111	2.106	2.101	2.096	2.091	2.086	2.080	2.075	2.070
83	2.065	2.060	2.056	2.051	2.046	2.041	2.036	2.031	2.026	2.021
84	2.017	2.012	2.007	2.002	1.998	1.993	1.988	1.983	1.979	1.974
85	1.969	1.965	1.960	1.956	1.951	1.946	1.942	1.937	1.933	1.928
86	1.924	1.919	1.915	1.911	1.906	1.902	1.897	1.893	1.889	1.884
87	1.880	1.876	1.871	1.867	1.863	1.858	1.854	1.850	1.846	1.842
88	1.837	1.833	1.829	1.825	1.821	1.817	1.813	1.809	1.804	1.800

表 X6.1 (续)

压痕对角线长度, $\mu\text{m}$	对角线表示的努氏硬度值, 测量精确到 0.1 $\mu\text{m}$									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
89	1.796	1.792	1.788	1.784	1.780	1.776	1.772	1.768	1.765	1.761
90	1.757	1.753	1.749	1.745	1.741	1.737	1.733	1.730	1.726	1.722
91	1.718	1.715	1.711	1.707	1.703	1.700	1.696	1.692	1.688	1.685
92	1.681	1.677	1.674	1.670	1.667	1.663	1.659	1.656	1.652	1.649
93	1.654	1.642	1.638	1.635	1.631	1.628	1.624	1.621	1.617	1.614
94	1.610	1.607	1.604	1.600	1.597	1.593	1.590	1.587	1.583	1.580
95	1.577	1.573	1.570	1.567	1.563	1.560	1.557	1.554	1.550	1.547
96	1.544	1.541	1.538	1.534	1.531	1.528	1.525	1.522	1.519	1.515
97	1.512	1.509	1.506	1.503	1.500	1.497	1.494	1.491	1.488	1.485
98	1.482	1.479	1.476	1.473	1.470	1.467	1.464	1.461	1.458	1.455
99	1.452	1.449	1.446	1.443	1.440	1.437	1.434	1.431	1.429	1.426
100	1.423	1.420	1.417	1.413	1.412	1.409	1.406	1.403	1.400	1.398
101	1.395	1.392	1.389	1.387	1.384	1.381	1.378	1.376	1.373	1.370
102	1.368	1.365	1.362	1.360	1.357	1.354	1.352	1.349	1.346	1.344
103	1.341	1.339	1.336	1.333	1.331	1.328	1.326	1.323	1.321	1.318
104	1.316	1.313	1.311	1.308	1.305	1.303	1.301	1.298	1.296	1.293
105	1.291	1.288	1.286	1.283	1.281	1.278	1.276	1.274	1.271	1.269
106	1.266	1.264	1.262	1.259	1.257	1.255	1.252	1.250	1.247	1.245
107	1.243	1.240	1.238	1.236	1.234	1.231	1.229	1.227	1.224	1.222
108	1.220	1.218	1.215	1.213	1.211	1.209	1.206	1.204	1.202	1.200
109	1.198	1.195	1.193	1.191	1.189	1.187	1.185	1.182	1.180	1.178
110	1.176	1.174	1.172	1.170	1.167	1.165	1.163	1.161	1.159	1.157
111	1.155	1.153	1.151	1.149	1.147	1.145	1.142	1.140	1.138	1.136
112	1.134	1.132	1.130	1.128	1.126	1.124	1.122	1.120	1.118	1.116
113	1.114	1.112	1.110	1.108	1.106	1.105	1.103	1.101	1.099	1.097
114	1.095	1.093	1.091	1.089	1.087	1.085	1.083	1.082	1.080	1.078
115	1.076	1.074	1.072	1.070	1.068	1.067	1.065	1.063	1.061	1.059
116	1.057	1.056	1.054	1.052	1.050	1.048	1.047	1.045	1.043	1.041
117	1.039	1.038	1.036	1.034	1.032	1.031	1.029	1.027	1.025	1.024
118	1.022	1.020	1.018	1.017	1.015	1.013	1.012	1.010	1.008	1.006
119	1.005	1.003	1.001	0.9998	0.9981	0.9964	0.9947	0.9931	0.9914	0.9898
120	0.9851	0.9865	0.9848	0.9832	0.9816	0.9799	0.9783	0.9767	0.9751	0.9735
121	0.9719	0.9703	0.9687	0.9671	0.9655	0.9639	0.9623	0.9607	0.9591	0.9576
122	0.9560	0.9544	0.9528	0.9513	0.9498	0.9482	0.9467	0.9451	0.9436	0.9420
123	0.9405	0.9390	0.9375	0.9359	0.9344	0.9329	0.9314	0.9299	0.9284	0.9269
124	0.9254	0.9239	0.9224	0.9209	0.9195	0.9180	0.9165	0.9150	0.9136	0.9121
125	0.9107	0.9092	0.9078	0.9063	0.9049	0.9034	0.9020	0.9005	0.8991	0.8977
126	0.8963	0.8948	0.8934	0.8920	0.8906	0.8892	0.8878	0.8864	0.8850	0.8836
127	0.8822	0.8808	0.8794	0.8780	0.8767	0.8753	0.8739	0.8726	0.8712	0.8698
128	0.8685	0.8671	0.8658	0.8644	0.8631	0.8617	0.8604	0.8591	0.8577	0.8564
129	0.8551	0.8537	0.8524	0.8511	0.8498	0.8485	0.8472	0.8459	0.8446	0.8433
130	0.8420	0.8407	0.8394	0.8381	0.8368	0.8355	0.8343	0.8330	0.8317	0.8304
131	0.8291	0.8279	0.8266	0.8254	0.8241	0.8229	0.8216	0.8204	0.8191	0.8179
132	0.8166	0.8154	0.8142	0.8129	0.8117	0.8105	0.8093	0.8080	0.8068	0.8056
133	0.8044	0.8032	0.8020	0.8008	0.7996	0.7984	0.7972	0.7960	0.7948	0.7936
134	0.7924	0.7913	0.7901	0.7889	0.7877	0.7866	0.7854	0.7842	0.7831	0.7819
135	0.7807	0.7796	0.7784	0.7773	0.7761	0.7750	0.7738	0.7727	0.7716	0.7704
136	0.7693	0.7682	0.7670	0.7659	0.7648	0.7637	0.7626	0.7614	0.7603	0.7592
137	0.7581	0.7570	0.7559	0.7548	0.7537	0.7526	0.7515	0.7504	0.7493	0.7483
138	0.7472	0.7461	0.7450	0.7439	0.7429	0.7418	0.7407	0.7396	0.7386	0.7375
139	0.7365	0.7354	0.7343	0.7333	0.7322	0.7312	0.7301	0.7291	0.7281	0.7270
140	0.7260	0.7249	0.7239	0.7229	0.7218	0.7208	0.7198	0.7188	0.7177	0.7167
141	0.7157	0.7147	0.7137	0.7127	0.7117	0.7107	0.7097	0.7087	0.7077	0.7067
142	0.7057	0.7047	0.7037	0.7027	0.7017	0.7007	0.6997	0.6988	0.6978	0.6968
143	0.6958	0.6949	0.6939	0.6929	0.6920	0.6910	0.6900	0.6891	0.6881	0.6872
144	0.6862	0.6852	0.6843	0.6834	0.6824	0.6815	0.6805	0.6796	0.6786	0.6777
145	0.6768	0.6758	0.6749	0.6740	0.6731	0.6721	0.6712	0.6703	0.6694	0.6684
146	0.6675	0.6666	0.6657	0.6648	0.6639	0.6630	0.6621	0.6612	0.6603	0.6594
147	0.6585	0.6576	0.6567	0.6558	0.6549	0.6540	0.6531	0.6523	0.6514	0.6505
148	0.6496	0.6487	0.6479	0.6470	0.6461	0.6452	0.6444	0.6435	0.6426	0.6418
149	0.6409	0.6401	0.6392	0.6383	0.6375	0.6366	0.6358	0.6349	0.6341	0.6332



表 X6.1 (续)

压痕对角线长度, $\mu\text{m}$	对角线表示的努氏硬度值, 测量精确到 0.1 $\mu\text{m}$									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
150	0.6324	0.6316	0.6307	0.6299	0.6290	0.6282	0.6274	0.6265	0.6257	0.6249
151	0.6241	0.6232	0.6224	0.6216	0.6208	0.6199	0.6191	0.6183	0.6175	0.6167
152	0.6159	0.6151	0.6143	0.6134	0.6126	0.6118	0.6110	0.6102	0.6094	0.6086
153	0.6078	0.6071	0.6063	0.6055	0.6047	0.6039	0.6031	0.6023	0.6015	0.6008
154	0.6000	0.5992	0.5984	0.5976	0.5969	0.5961	0.5953	0.5946	0.5938	0.5930
155	0.5923	0.5915	0.5907	0.5900	0.5892	0.5885	0.5877	0.5869	0.5862	0.5854
156	0.5847	0.5839	0.5832	0.5825	0.5817	0.5810	0.5802	0.5795	0.5787	0.5780
157	0.5773	0.5765	0.5758	0.5751	0.5743	0.5736	0.5729	0.5722	0.5714	0.5707
158	0.5700	0.5693	0.5685	0.5678	0.5671	0.5664	0.5657	0.5650	0.5643	0.5635
159	0.5628	0.5621	0.5614	0.5607	0.5600	0.5593	0.5586	0.5579	0.5572	0.5565
160	0.5558	0.5551	0.5544	0.5537	0.5531	0.5524	0.5517	0.5510	0.5503	0.5496
161	0.5489	0.5483	0.5476	0.5469	0.5462	0.5455	0.5449	0.5442	0.5435	0.5429
162	0.5422	0.5415	0.5408	0.5402	0.5395	0.5389	0.5382	0.5375	0.5369	0.5362
163	0.5356	0.5349	0.5342	0.5336	0.5329	0.5323	0.5316	0.5310	0.5303	0.5297
164	0.5290	0.5284	0.5278	0.5271	0.5265	0.5258	0.5252	0.5246	0.5239	0.5233
165	0.5226	0.5220	0.5214	0.5208	0.5201	0.5195	0.5189	0.5182	0.5176	0.5170
166	0.5164	0.5157	0.5151	0.5145	0.5139	0.5133	0.5127	0.5120	0.5114	0.5108
167	0.5102	0.5096	0.5090	0.5084	0.5078	0.5072	0.5066	0.5060	0.5054	0.5047
168	0.5041	0.5035	0.5030	0.5024	0.5018	0.5012	0.5006	0.5000	0.4994	0.4988
169	0.4982	0.4976	0.4970	0.4964	0.4959	0.4953	0.4947	0.4941	0.4935	0.4929
170	0.4924	0.4918	0.4912	0.4906	0.4900	0.4895	0.4889	0.4883	0.4878	0.4872
171	0.4866	0.4860	0.4855	0.4849	0.4843	0.4838	0.4832	0.4827	0.4821	0.4815
172	0.4810	0.4804	0.4799	0.4793	0.4787	0.4782	0.4776	0.4771	0.4765	0.4760
173	0.4754	0.4749	0.4743	0.4738	0.4732	0.4727	0.4721	0.4716	0.4711	0.4705
174	0.4700	0.4694	0.4689	0.4684	0.4678	0.4673	0.4668	0.4662	0.4657	0.4652
175	0.4646	0.4641	0.4636	0.4630	0.4625	0.4620	0.4615	0.4609	0.4604	0.4599
176	0.4594	0.4588	0.4583	0.4578	0.4573	0.4568	0.4562	0.4557	0.4552	0.4547
177	0.4542	0.4537	0.4532	0.4526	0.4521	0.4516	0.4511	0.4506	0.4501	0.4496
178	0.4491	0.4486	0.4481	0.4476	0.4471	0.4466	0.4461	0.4456	0.4451	0.4446
179	0.4441	0.4436	0.4431	0.4426	0.4421	0.4416	0.4411	0.4406	0.4401	0.4397
180	0.4392	0.4387	0.4382	0.4377	0.4372	0.4367	0.4363	0.4358	0.4353	0.4348
181	0.4343	0.4339	0.4334	0.4329	0.4324	0.4319	0.4315	0.4310	0.4305	0.4300
182	0.4296	0.4291	0.4286	0.4282	0.4277	0.4272	0.4268	0.4263	0.4258	0.4254
183	0.4249	0.4244	0.4240	0.4235	0.4230	0.4226	0.4221	0.4217	0.4212	0.4207
184	0.4203	0.4198	0.4194	0.4189	0.4185	0.4180	0.4176	0.4171	0.4167	0.4162
185	0.4158	0.4153	0.4149	0.4144	0.4140	0.4135	0.4131	0.4126	0.4122	0.4117
186	0.4113	0.4109	0.4104	0.4100	0.4095	0.4091	0.4087	0.4082	0.4078	0.4073
187	0.4069	0.4065	0.4060	0.4056	0.4052	0.4047	0.4043	0.4039	0.4034	0.4030
188	0.4026	0.4022	0.4017	0.4013	0.4009	0.4005	0.4000	0.3996	0.3992	0.3988
189	0.3983	0.3979	0.3975	0.3971	0.3967	0.3962	0.3958	0.3954	0.3950	0.3946
190	0.3942	0.3937	0.3933	0.3929	0.3925	0.3921	0.3917	0.3913	0.3909	0.3905
191	0.3900	0.3896	0.3892	0.3888	0.3884	0.3880	0.3876	0.3872	0.3868	0.3864
192	0.3860	0.3856	0.3852	0.3848	0.3844	0.3840	0.3836	0.3832	0.3828	0.3824
193	0.3820	0.3816	0.3812	0.3808	0.3804	0.3800	0.3796	0.3792	0.3789	0.3785
194	0.3781	0.3777	0.3773	0.3769	0.3765	0.3761	0.3757	0.3754	0.3750	0.3746
195	0.3742	0.3738	0.3734	0.3731	0.3727	0.3723	0.3719	0.3715	0.3712	0.3708
196	0.3704	0.3700	0.3696	0.3693	0.3689	0.3685	0.3681	0.3678	0.3674	0.3670
197	0.3663	0.3663	0.3659	0.3655	0.3652	0.3648	0.3644	0.3641	0.3637	0.3633
198	0.3630	0.3626	0.3622	0.3619	0.3615	0.3611	0.3608	0.3604	0.3600	0.3597
199	0.3593	0.3590	0.3586	0.3582	0.3579	0.3575	0.3572	0.3568	0.3564	0.3561
200	0.3557	0.3554	0.3550	0.3547	0.3543	0.3540	0.3536	0.3533	0.3529	0.3525

† 已修正。

表 X6.2 维氏硬度值 (载荷为 1gf)

压痕对角线长度, $\mu\text{m}$	对角线表示的维氏硬度值, 测量精确到 0.1 $\mu\text{m}$									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
1	1854.6	1533.5	1288	1097.5	946.1	824.2	724.4	641.6	572.3	513.7
2	463.0	420.0	383.1	350.3	321.9	296.7	274.3	254.4	236.5	220.5
3	206.9	193.3	181.1	170.3	160.4	151.4	143.1	135.5	128.4	121.9
4	115.17	110.29	105.58	100.01	95.78	91.57	87.64	83.95	80.48	77.23
5	74	71	68	66	63.59	61.30	59.13	57.07	55.12	53.27
6	51.51	49.83	48.24	46.72	45.27	43.89	42.57	41.31	40.10	38.95
7	37.84	36.79	35.77	34.80	33.86	32.97	32.10	31.28	30.48	29.71
8	28.97	28.26	27.58	26.92	26.28	25.67	25.07	24.50	23.95	23.41
9	22.89	22.39	21.91	21.44	20.99	20.55	20.12	19.71	19.31	18.92
10	18.54	18.18	17.82	17.48	17.14	16.82	16.50	16.20	15.90	15.61
11	15.33	15.05	14.78	14.52	14.27	14.02	13.78	13.55	13.32	13.09
12	12.88	12.67	12.46	12.26	12.06	11.87	11.68	11.50	11.32	11.14
13	10.97	10.81	10.64	10.48	10.33	10.17	10.03	9.880	9.737	9.598
14	9.461	9.327	9.196	9.068	8.943	8.820	8.699	8.581	8.466	8.353
15	8.242	8.133	8.026	7.922	7.819	7.718	7.620	7.523	7.428	7.335
16	7.244	7.154	7.066	6.979	6.895	6.811	6.729	6.649	6.570	6.493
17	6.416	6.342	6.268	6.196	6.125	6.055	5.986	5.919	5.853	5.787
18	5.723	5.660	5.598	5.537	5.477	5.418	5.360	5.303	5.247	5.191
19	5.137	5.083	5.030	4.978	4.927	4.877	4.827	4.778	4.730	4.683
20	4.636	4.590	4.545	4.500	4.456	4.413	4.370	4.328	4.286	4.245
21	4.205	4.165	4.126	4.087	4.049	4.012	3.975	3.938	3.902	3.866
22	3.831	3.797	3.763	3.729	3.696	3.663	3.631	3.599	3.567	3.536
23	3.505	3.475	3.445	3.416	3.387	3.358	3.329	3.301	3.274	3.246
24	3.219	3.195	3.166	3.140	3.115	3.089	3.064	3.039	3.015	2.991
25	2.967	2.943	2.920	2.897	2.874	2.852	2.830	2.808	2.786	2.764
26	2.743	2.722	2.701	2.681	2.661	2.641	2.621	2.601	2.582	2.563
27	2.544	2.525	2.506	2.488	2.470	2.452	2.434	2.417	2.399	2.382
28	2.365	2.348	2.332	2.315	2.299	2.283	2.267	2.251	2.236	2.220
29	2.205	2.190	2.175	2.160	2.145	2.131	2.116	2.102	2.088	2.074
30	2.060	2.047	2.033	2.020	2.007	1.993	1.980	1.968	1.955	1.942
31	1.930	1.917	1.905	1.893	1.881	1.869	1.857	1.845	1.834	1.822
32	1.811	1.800	1.788	1.777	1.766	1.756	1.745	1.734	1.724	1.713
33	1.703	1.693	1.682	1.672	1.662	1.652	1.643	1.633	1.623	1.614
34	1.604	1.595	1.585	1.576	1.567	1.558	1.549	1.540	1.531	1.522
35	1.514	1.505	1.497	1.488	1.480	1.471	1.463	1.455	1.447	1.439
36	1.431	1.423	1.415	1.407	1.400	1.392	1.384	1.377	1.369	1.362
37	1.355	1.347	1.340	1.333	1.326	1.319	1.312	1.305	1.298	1.291
38	1.284	1.277	1.271	1.264	1.258	1.251	1.245	1.238	1.232	1.225
39	1.219	1.213	1.207	1.201	1.195	1.189	1.183	1.177	1.171	1.165
40	1.159	1.153	1.147	1.142	1.136	1.131	1.125	1.119	1.114	1.109
41	1.103	1.098	1.092	1.087	1.082	1.077	1.072	1.066	1.061	1.056
42	1.051	1.046	1.041	1.036	1.031	1.027	1.022	1.017	1.012	1.008
43	0.003	0.9983	0.9936	0.9891	0.9845	0.9800	0.9755	0.9710	0.9666	0.9622
44	0.9578	0.9535	0.9492	0.9449	0.9407	0.9364	0.9322	0.9281	0.9239	0.9198
45	0.9157	0.9117	0.9077	0.9036	0.8997	0.8957	0.8918	0.8879	0.8840	0.8802
46	0.8764	0.8726	0.8688	0.8650	0.8613	0.8576	0.8539	0.8503	0.8467	0.8430
47	0.8395	0.8359	0.8324	0.8288	0.8254	0.8219	0.8184	0.8150	0.8116	0.8082
48	0.8048	0.8015	0.7982	0.7949	0.7916	0.7883	0.7851	0.7819	0.7787	0.7755
49	0.7723	0.7692	0.7661	0.7630	0.7599	0.7568	0.7538	0.7507	0.7477	0.7447
50	0.7417	0.7388	0.7359	0.7329	0.7300	0.7271	0.7243	0.7214	0.7186	0.7158
51	0.7129	0.7102	0.7074	0.7046	0.7019	0.6992	0.6965	0.6938	0.6911	0.6884
52	0.6858	0.6832	0.6805	0.6779	0.6754	0.6728	0.6702	0.6677	0.6652	0.6627
53	0.6602	0.6577	0.6552	0.6527	0.6503	0.6479	0.6455	0.6431	0.6407	0.6383
54	0.6359	0.6336	0.6312	0.6289	0.6266	0.6243	0.6220	0.6198	0.6175	0.6153
55	0.6130	0.6108	0.6086	0.6064	0.6042	0.6020	0.5999	0.5977	0.5956	0.5934
56	0.5913	0.5892	0.5871	0.5850	0.5830	0.5809	0.5788	0.5768	0.5748	0.5728
57	0.5708	0.5688	0.5668	0.5648	0.5628	0.5609	0.5589	0.5570	0.5551	0.5531
58	0.5512	0.5493	0.5475	0.5456	0.5437	0.5419	0.5400	0.5382	0.5363	0.5345
59	0.5327	0.5309	0.5291	0.5273	0.5256	0.5238	0.5220	0.5203	0.5186	0.5168
60	0.5151	0.5134	0.5117	0.5100	0.5083	0.5066	0.5050	0.5033	0.5016	0.5000

表 X6.2(续)

压痕对角线长度, $\mu\text{m}$	对角线表示的维氏硬度值, 测量精确到 0.1 $\mu\text{m}$									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
61	0.4984	0.4967	0.4951	0.4935	0.4919	0.4903	0.4887	0.4871	0.4855	0.4840
62	0.4824	0.4809	0.4793	0.4778	0.4762	0.4747	0.4732	0.4717	0.4702	0.4687
63	0.4672	0.4657	0.4643	0.4628	0.4613	0.4599	0.4584	0.4570	0.4556	0.4541
64	0.4527	0.4513	0.4499	0.4485	0.4471	0.4457	0.4444	0.4430	0.4416	0.4403
65	0.4389	0.4376	0.4362	0.4349	0.4336	0.4322	0.4309	0.4296	0.4283	0.4270
66	0.4257	0.4244	0.4231	0.4219	0.4206	0.4193	0.4181	0.4168	0.4156	0.4143
67	0.4131	0.4119	0.4106	0.4094	0.4082	0.4070	0.4058	0.4046	0.4034	0.4022
68	0.4010	0.3999	0.3987	0.3975	0.3964	0.3952	0.3941	0.3929	0.3918	0.3906
69	0.3895	0.3884	0.3872	0.3861	0.3850	0.3839	0.3828	0.3817	0.3806	0.3795
70	0.3784	0.3774	0.3763	0.3752	0.3742	0.3731	0.3720	0.3710	0.3699	0.3689
71	0.3679	0.3668	0.3658	0.3648	0.3638	0.3627	0.3617	0.3607	0.3597	0.3587
72	0.3577	0.3567	0.3557	0.3548	0.3538	0.3528	0.3518	0.3509	0.3499	0.3489
73	0.3480	0.3470	0.3461	0.3451	0.3442	0.3433	0.3423	0.3414	0.3405	0.3396
74	0.3386	0.3377	0.3368	0.3359	0.3350	0.3341	0.3332	0.3323	0.3314	0.3305
75	0.3297	0.3288	0.3279	0.3270	0.3262	0.3253	0.3245	0.3236	0.3227	0.3219
76	0.3211	0.3202	0.3194	0.3185	0.3177	0.3169	0.3160	0.3152	0.3144	0.3136
77	0.3128	0.3120	0.3111	0.3103	0.3095	0.3087	0.3079	0.3072	0.3064	0.3056
78	0.3048	0.3040	0.3032	0.3025	0.3017	0.3009	0.3002	0.2994	0.2986	0.2979
79	0.2971	0.2964	0.2956	0.2949	0.2941	0.2934	0.2927	0.2919	0.2912	0.2905
80	0.2897	0.2890	0.2883	0.2876	0.2869	0.2862	0.2855	0.2847	0.2840	0.2833
81	0.2826	0.2819	0.2812	0.2806	0.2799	0.2792	0.2785	0.2778	0.2771	0.2765
82	0.2758	0.2751	0.2744	0.2738	0.2731	0.2725	0.2718	0.2711	0.2705	0.2698
83	0.2692	0.2685	0.2677	0.2672	0.2666	0.2660	0.2653	0.2647	0.2641	0.2634
84	0.2628	0.2622	0.2616	0.2609	0.2603	0.2597	0.2591	0.2585	0.2579	0.2573
85	0.2567	0.2561	0.2555	0.2549	0.2543	0.2537	0.2531	0.2525	0.2519	0.2513
86	0.2507	0.2501	0.2496	0.2490	0.2484	0.2478	0.2473	0.2467	0.2461	0.2456
87	0.2450	0.2444	0.2439	0.2433	0.2428	0.2422	0.2417	0.2411	0.2406	0.2400
88	0.2395	0.2389	0.2384	0.2378	0.2373	0.2368	0.2362	0.2357	0.2352	0.2346
89	0.2341	0.2336	0.2331	0.2325	0.2320	0.2315	0.2310	0.2305	0.2300	0.2294
90	0.2289	0.2284	0.2279	0.2274	0.2269	0.2264	0.2259	0.2254	0.2249	0.2244
91	0.2239	0.2234	0.2230	0.2225	0.2220	0.2215	0.2210	0.2205	0.2200	0.2196
92	0.2191	0.2186	0.2181	0.2177	0.2172	0.2167	0.2163	0.2158	0.2153	0.2149
93	0.2144	0.2139	0.2135	0.2130	0.2126	0.2121	0.2117	0.2112	0.2108	0.2103
94	0.2099	0.2094	0.2090	0.2085	0.2081	0.2077	0.2072	0.2068	0.2063	0.2059
95	0.2055	0.2050	0.2046	0.2042	0.2038	0.2033	0.2029	0.2025	0.2021	0.2016
96	0.2012	0.2008	0.2004	0.2000	0.1995	0.1991	0.1987	0.1983	0.1979	0.1975
97	0.1971	0.1967	0.1963	0.1959	0.1955	0.1951	0.1947	0.1943	0.1939	0.1935
98	0.1931	0.1927	0.1923	0.1919	0.1915	0.1911	0.1907	0.1904	0.1900	0.1896
99	0.1892	0.1888	0.1884	0.1881	0.1877	0.1873	0.1869	0.1866	0.1862	0.1858
100	0.1854	0.1851	0.1847	0.1843	0.1840	0.1836	0.1832	0.1829	0.1825	0.1821
101	0.1818	0.1814	0.1811	0.1807	0.1804	0.1800	0.1796	0.1793	0.1789	0.1786
102	0.1782	0.1779	0.1775	0.1772	0.1769	0.1765	0.1762	0.1758	0.1755	0.1751
103	0.1748	0.1745	0.1741	0.1738	0.1734	0.1731	0.1728	0.1724	0.1721	0.1718
104	0.1715	0.1711	0.1708	0.1705	0.1701	0.1698	0.1695	0.1692	0.1688	0.1685
105	0.1682	0.1679	0.1676	0.1672	0.1669	0.1666	0.1663	0.1660	0.1657	0.1654
106	0.1650	0.1647	0.1644	0.1641	0.1638	0.1635	0.1632	0.1629	0.1626	0.1623
107	0.1620	0.1617	0.1614	0.1611	0.1608	0.1605	0.1602	0.1599	0.1596	0.1593
108	0.1590	0.1587	0.1584	0.1581	0.1578	0.1575	0.1572	0.1569	0.1567	0.1564
109	0.1561	0.1556	0.1555	0.1552	0.1549	0.1547	0.1544	0.1541	0.1538	0.1535
110	0.1533	0.1530	0.1527	0.1524	0.1521	0.1519	0.1516	0.1513	0.1511	0.1508
111	0.1505	0.1502	0.1500	0.1497	0.1494	0.1492	0.1489	0.1486	0.1484	0.1481
112	0.1478	0.1476	0.1473	0.1470	0.1468	0.1465	0.1463	0.1460	0.1457	0.1455
113	0.1452	0.1450	0.1447	0.1445	0.1442	0.1440	0.1437	0.1434	0.1432	0.1429
114	0.1427	0.1424	0.1422	0.1419	0.1417	0.1414	0.1412	0.1410	0.1407	0.1405
115	0.1402	0.1400	0.1397	0.1395	0.1393	0.1390	0.1388	0.1385	0.1383	0.1381
116	0.1378	0.1376	0.1373	0.1371	0.1369	0.1366	0.1364	0.1362	0.1359	0.1357
117	0.1355	0.1352	0.1350	0.1348	0.1345	0.1343	0.1341	0.1339	0.1336	0.1334
118	0.1332	0.1330	0.1327	0.1325	0.1323	0.1321	0.1318	0.1316	0.1314	0.1312
119	0.1310	0.1307	0.1305	0.1303	0.1301	0.1299	0.1296	0.1294	0.1292	0.1290
120	0.1288	0.1286	0.1284	0.1281	0.1279	0.1277	0.1275	0.1273	0.1271	0.1269
121	0.1267	0.1265	0.1262	0.1260	0.1258	0.1256	0.1254	0.1252	0.1250	0.1248

表 X6.2(续)

压痕对角线长度, $\mu\text{m}$	对角线表示的维氏硬度值, 测量精确到 0.1 $\mu\text{m}$									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
122	0.1246	0.1244	0.1242	0.1240	0.1238	0.1236	0.1234	0.1232	0.1230	0.1228
123	0.1226	0.1224	0.1222	0.1220	0.1218	0.1216	0.1214	0.1212	0.1210	0.1208
124	0.1206	0.1204	0.1202	0.1200	0.1198	0.1196	0.1194	0.1193	0.1191	0.1189
125	0.1187	0.1185	0.1183	0.1181	0.1179	0.1177	0.1176	0.1174	0.1172	0.1170
126	0.1168	0.1166	0.1164	0.1163	0.1161	0.1159	0.1157	0.1155	0.1153	0.1152
127	0.1150	0.1148	0.1146	0.1144	0.1143	0.1141	0.1139	0.1137	0.1135	0.1134
128	0.1132	0.1130	0.1128	0.1127	0.1125	0.1123	0.1121	0.1120	0.1118	0.1116
129	0.1114	0.1113	0.1111	0.1109	0.1108	0.1106	0.1104	0.1102	0.1101	0.1099
130	0.1097	0.1096	0.1094	0.1092	0.1091	0.1089	0.1087	0.1086	0.1084	0.1082
131	0.1081	0.1079	0.1077	0.1076	0.1074	0.1072	0.1071	0.1069	0.1068	0.1066
132	0.1064	0.1063	0.1061	0.1059	0.1058	0.1056	0.1055	0.1053	0.1052	0.1050
133	0.1048	0.1047	0.1045	0.1044	0.1042	0.1041	0.1039	0.1037	0.1036	0.1034
134	0.1033	0.1031	0.1030	0.1028	0.1027	0.1025	0.1024	0.1022	0.1021	0.1019
135	0.1018	0.1016	0.1015	0.1013	0.1012	0.1010	0.1009	0.1007	0.1006	0.1004
136	0.1003	0.1001	0.1000	0.0998	0.0997	0.0995	0.0994	0.0992	0.0991	0.0989
137	0.0988	0.0987	0.0985	0.0984	0.0982	0.0981	0.0979	0.0978	0.0977	0.0975
138	0.0974	0.0972	0.0971	0.0970	0.0968	0.0967	0.0965	0.0964	0.0963	0.0961
139	0.0960	0.0958	0.0957	0.0956	0.0954	0.0953	0.0952	0.0950	0.0949	0.0948
140	0.0946	0.0945	0.0943	0.0942	0.0941	0.0939	0.0938	0.0937	0.0935	0.0934
141	0.0933	0.0931	0.0930	0.0929	0.0928	0.0926	0.0925	0.0924	0.0922	0.0921
142	0.0920	0.0918	0.0917	0.0916	0.0915	0.0913	0.0912	0.0911	0.0909	0.0908
143	0.0907	0.0906	0.0904	0.0903	0.0902	0.0901	0.0899	0.0898	0.0897	0.0896
144	0.0894	0.0893	0.0892	0.0891	0.0889	0.0888	0.0887	0.0886	0.0884	0.0883
145	0.0882	0.0881	0.0880	0.0878	0.0877	0.0876	0.0875	0.0874	0.0872	0.0871
146	0.0870	0.0869	0.0868	0.0866	0.0865	0.0864	0.0863	0.0862	0.0861	0.0859
147	0.0858	0.0857	0.0856	0.0855	0.0854	0.0852	0.0851	0.0850	0.0849	0.0848
148	0.0847	0.0845	0.0844	0.0843	0.0842	0.0841	0.0840	0.0839	0.0838	0.0836
149	0.0835	0.0834	0.0833	0.0832	0.0831	0.0830	0.0829	0.0828	0.0826	0.0825
150	0.0824	0.0823	0.0822	0.0821	0.0820	0.0819	0.0818	0.0817	0.0815	0.0814
151	0.0813	0.0812	0.0811	0.0810	0.0809	0.0808	0.0807	0.0806	0.0805	0.0804
152	0.0803	0.0802	0.0801	0.0800	0.0798	0.0797	0.0796	0.0795	0.0794	0.0793
153	0.0792	0.0791	0.0790	0.0789	0.0788	0.0787	0.0786	0.0785	0.0784	0.0783
154	0.0782	0.0781	0.0780	0.0779	0.0778	0.0777	0.0776	0.0775	0.0774	0.0773
155	0.0772	0.0771	0.0770	0.0769	0.0768	0.0767	0.0766	0.0765	0.0764	0.0763
156	0.0762	0.0761	0.0760	0.0759	0.0758	0.0757	0.0756	0.0755	0.0754	0.0753
157	0.0752	0.0751	0.0750	0.0749	0.0749	0.0748	0.0747	0.0746	0.0745	0.0744
158	0.0743	0.0742	0.0741	0.0740	0.0739	0.0738	0.0737	0.0736	0.0735	0.0734
159	0.0734	0.0733	0.0732	0.0731	0.0730	0.0729	0.0728	0.0727	0.0726	0.0725
160	0.0724	0.0724	0.0723	0.0722	0.0721	0.0720	0.0719	0.0718	0.0717	0.0716
161	0.0715	0.0715	0.0714	0.0713	0.0712	0.0711	0.0710	0.0709	0.0708	0.0708
162	0.0707	0.0706	0.0705	0.0704	0.0703	0.0702	0.0701	0.0701	0.0700	0.0699
163	0.0698	0.0697	0.0696	0.0695	0.0695	0.0694	0.0693	0.0692	0.0691	0.0690
164	0.0690	0.0689	0.0688	0.0687	0.0686	0.0685	0.0684	0.0684	0.0683	0.0682
165	0.0681	0.0680	0.0680	0.0679	0.0678	0.0677	0.0676	0.0675	0.0675	0.0674
166	0.0673	0.0672	0.0671	0.0671	0.0670	0.0669	0.0668	0.0667	0.0667	0.0666
167	0.0665	0.0664	0.0663	0.0663	0.0662	0.0661	0.0660	0.0659	0.0659	0.0658
168	0.0657	0.0656	0.0656	0.0655	0.0654	0.0653	0.0652	0.0652	0.0651	0.0650
169	0.0649	0.0649	0.0648	0.0647	0.0646	0.0645	0.0645	0.0644	0.0643	0.0642
170	0.0642	0.0641	0.0640	0.0639	0.0639	0.0638	0.0637	0.0636	0.0636	0.0635
171	0.0634	0.0633	0.0633	0.0632	0.0631	0.0631	0.0630	0.0629	0.0628	0.0628
172	0.0627	0.0626	0.0625	0.0625	0.0624	0.0623	0.0623	0.0622	0.0621	0.0620
173	0.0620	0.0619	0.0618	0.0617	0.0617	0.0616	0.0615	0.0615	0.0614	0.0613
174	0.0613	0.0612	0.0611	0.0610	0.0610	0.0609	0.0608	0.0608	0.0607	0.0606
175	0.0606	0.0605	0.0604	0.0603	0.0603	0.0602	0.0601	0.0601	0.0600	0.0599
176	0.0599	0.0598	0.0597	0.0597	0.0596	0.0595	0.0595	0.0594	0.0593	0.0593
177	0.0592	0.0591	0.0591	0.0590	0.0589	0.0589	0.0588	0.0587	0.0587	0.0586
178	0.0585	0.0585	0.0584	0.0583	0.0583	0.0582	0.0581	0.0581	0.0580	0.0579
179	0.0579	0.0578	0.0578	0.0577	0.0576	0.0576	0.0575	0.0574	0.0574	0.0573
180	0.0572	0.0572	0.0571	0.0570	0.0570	0.0569	0.0569	0.0568	0.0567	0.0567
181	0.0566	0.0565	0.0565	0.0564	0.0564	0.0563	0.0562	0.0562	0.0561	0.0560
182	0.0560	0.0559	0.0559	0.0558	0.0557	0.0557	0.0556	0.0556	0.0555	0.0554

表 X6.2(续)

压痕对角线 长度, $\mu\text{m}$	对角线表示的维氏硬度值, 测量精确到 0.1 $\mu\text{m}$									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
183	0.0554	0.0553	0.0553	0.0552	0.0551	0.0551	0.0550	0.0550	0.0549	0.0548
184	0.0548	0.0547	0.0547	0.0546	0.0545	0.0545	0.0544	0.0544	0.0543	0.0542
185	0.0542	0.0541	0.0541	0.0540	0.0540	0.0539	0.0538	0.0538	0.0537	0.0537
186	0.0536	0.0535	0.0535	0.0534	0.0534	0.0533	0.0533	0.0532	0.0531	0.0531
187	0.0530	0.0530	0.0529	0.0529	0.0528	0.0528	0.0527	0.0526	0.0526	0.0525
188	0.0525	0.0524	0.0524	0.0523	0.0522	0.0522	0.0521	0.0521	0.0520	0.0520
189	0.0519	0.0519	0.0518	0.0518	0.0517	0.0516	0.0516	0.0515	0.0515	0.0514
190	0.0514	0.0513	0.0513	0.0512	0.0512	0.0511	0.0510	0.0510	0.0509	0.0509
191	0.0508	0.0508	0.0507	0.0507	0.0506	0.0506	0.0505	0.0505	0.0504	0.0504
192	0.0503	0.0503	0.0502	0.0502	0.0501	0.0500	0.0500	0.0499	0.0499	0.0498
193	0.0498	0.0497	0.0497	0.0496	0.0496	0.0495	0.0495	0.0494	0.0494	0.0493
194	0.0493	0.0492	0.0492	0.0491	0.0491	0.0490	0.0490	0.0489	0.0489	0.0488
195	0.0488	0.0487	0.0487	0.0486	0.0486	0.0485	0.0485	0.0484	0.0484	0.0483
196	0.0483	0.0482	0.0482	0.0481	0.0481	0.0480	0.0480	0.0479	0.0479	0.0478
197	0.0478	0.0477	0.0477	0.0476	0.0476	0.0475	0.0475	0.0474	0.0474	0.0474
198	0.0473	0.0473	0.0472	0.0472	0.0471	0.0471	0.0470	0.0470	0.0469	0.0469
199	0.0468	0.0468	0.0467	0.0467	0.0466	0.0466	0.0465	0.0465	0.0465	0.0464
200	0.0464	0.0463	0.0463	0.0462	0.0462	0.0461	0.0461	0.0460	0.0460	0.0459

## 参考文献

- (1) Campbell, R.F., et al., "A New Design of Microhardness Tester and Some Factors Affecting the Diamond Pyramid Hardness Number at Light Loads," *Trans. ASM*, Vol 40, 1948, pp. 954-982.
- (2) Kennedy, R.G., and Marrotte, N.W., "The Effect of Vibration on Microhardness Testing," *Materials Research and Standards*, Vol 9, November 1969, pp. 18-23.
- (3) Brown, A.R.G., and Ineson, E., "Experimental Survey of Low-Load Hardness Testing Instruments," *Journal of the Iron and Steel Inst.*, Vol 169, 1951, pp. 376-388.
- (4) Thibault, N.W., and Nyquist, H.L., "The Measured Knoop Hardness of Hard Substances and Factors Affecting Its Determination," *Trans. ASM*, Vol 38, 1947, pp. 271-330.
- (5) Tarasov, L.P., and Thibault, N.W., "Determination of Knoop Hardness Numbers Independent of Load," *Trans. ASM*, Vol 38, 1947, pp. 331-353.
- (6) Vander Voort, G.P., "Results of an ASTM E04 Round Robin on the Precision and Bias of Measurements of Microindentation Hardness," *Factors that Affect the Precision of Mechanical Tests*, ASTM STP 1025, ASTM, Philadelphia, 1989, pp. 3-39.
- (7) Vander Voort, G.F., "Operator Errors In the Measurement of Microindentation Hardness," *Accreditation Practices for Inspections, Tests and Laboratories*, ASTM STP 1057, ASTM, Philadelphia, 1989, pp. 47-77.

## 变更一览表

委员会E04已标记了本文件相对于前一版本（E384-10<sup>e2</sup>）所做的修改位置，这些修改可能影响本标准的使用。（2011年8月1日批准）

- (1) 修订了1.2。
- (2) 修订了6.4。
- (3) 修订了6.4.4。
- (4) 修订了7.1.5，增加了表2和表3，随后的表格进行了重新编号。
- (5) 修订了8.9.2。
- (6) 修订了等式A1.1，修订了附录A1以反映这种变化。
- (7) 修订了A1.5和表A1.1。
- (8) 修订了表A1.5和表A1.6。

委员会E04已标记了本文件相对于前一版本（E384-09）所做的修改位置，这些修改可能影响本标准的使用。（2010年2月1日批准）

- (1) 章节1-12和所有附录都进行了修订。

委员会E04已标记了本文件相对于前一版本（E384-08<sup>e1</sup>）所做的修改位置，这些修改可能影响本标准的使用。（2009年5月1日批准）

- (1) 增加了表7和表8。
- (2) 增加了10.8.3。
- (3) 修订了A2.5.2和A2.5.4。
- (4) 删除了A2.5.1。

ASTM 国际组织采取的立场是，尊重任何与在本标准中提到的项目有关的专利权利的主张。这一标准的用户必须明确，任何该专利的有效性，侵犯这种专利的风险，完全由他们自己负责。

这个标准任何时候都由责任技术委员会进行修订，并且必须每五年审核一次，若未修订，则应重新审判或撤销。征求您关于修订本标准或增补标准的意见，并请致函 ASTM 国际总部。您的意见将会在负责的技术委员会会议上加以慎重考虑，您可出席这类会议。若您认为您的意见未被公平地倾听，您可按下述地址将您的修订意见通知 ASTM 标准化委员会。

本标准由 ASTM 国际版权所有，100 Bar Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States。按以上地址与 ASTM 联系，或致电 610-832-9585（电话）610-832-9555（传真），或 [service@astm.org](mailto:service@astm.org)（e-mail）；或通过 ASTM 网站（[www.astm.org](http://www.astm.org)），可获得本标准的单独再版本（单一或多份拷贝）。