

金属材料布氏硬度的标准试验方法<sup>1</sup>

本标准以固定代号 E10 发行；该编号之后紧跟的数字代表初版的年份，或在修订版中代表最近一次修订的年份。括号中的数字代表最近一次再次批准的年份。上标  $\epsilon$  代表在最近一次修订或再次批准后，进行了编辑更改。

## 1. 范围\*

1.1 本试验方法包含了使用布氏压痕硬度原则对金属材料进行布氏硬度的测定。该标准同时规定了布氏硬度试验机的要求，以及进行布氏硬度试验的程序。

1.2 在以下四个附件中，包括了本标准的附加要求：

布氏硬度试验机的检定 附件 A1

布氏硬度标准化设备 附件 A2

布氏硬度压头的标准化 附件 A3

布氏硬度试验块的标准 附件 A4

1.3 在本标准的以下附录中，包括了与布氏硬度试验相关的非强制性信息：

布氏硬度数值表 附录 X1

确定布氏硬度不确定度程序的示例 附录 X2

1.4 在布氏硬度试验被开发出来时，力值是以千克力 (kgf) 为单位的。尽管本标准中力值的单位是使用国际单位 (SI) 的牛顿 (N)，但由于 kgf 单位历史在先且继续通用，所有以 kgf 为单位的力值被给出作为参考，且本标准中很多关于力值的讨论引用的是以 kgf 为单位的。

1.5 本标准不打算说明所有的安全考量，若有，应与其用途联系起来。建立适当的安全及健康规程并在使用前确定管控限制的适用性是本标准使用者自身的责任。

<sup>1</sup> 该试验方法接受 ASTM E28 委员会 (机械试验) 的管辖，并由 E28.06 子委员会 (压痕硬度试验) 直接负责。

本版在 2015 年 5 月 1 日批准。在 2015 年 6 月发布。初版在 1924 年批准。上一版 E10-14 在 2014 年批准。DOI: 10.1520/E0010-15。

\*本标准的末尾有更改章节的摘要信息。

## 2. 参考文件

### 2.1 ASTM 标准<sup>2</sup>:

E29 在试验数据中使用有效数字以确定对规范的符合性的实施规程

E74 校准力值测量仪器以验证试验机显示力值的实施规程

E140 金属的布氏硬度、维氏硬度、洛氏硬度、表面洛氏硬度、努氏硬度、肖氏硬度及里氏硬度之间的硬度换算表

E384 材料的努氏及维氏硬度的试验方法

### 2.2 美国轴承制造协会标准

ABMA 10-1989 金属球<sup>3</sup>

### 2.3 ISO 标准

ISO/IEC 17011 符合性评估——评审组织对符合性评估组织进行评审的一般要求<sup>4</sup>

ISO/IEC 17025 校准及试验能力的一般要求<sup>4</sup>

## 3. 术语及方程

### 3.1 定义

3.1.1 校准——通过与标准仪器显示的值或一组参考标准进行比较，确定重要参数的值。

3.1.2 检定——检查或测试以保证符合规范。

3.1.3 标准化——通过检定或校准使符合已知标准。

3.1.4 布氏硬度试验——是一种压痕硬度试验，使用经检定的设备，在特定的条件下，施力将压头（碳化物球，直径为  $D$ ）压入将试验材料的表面。移除力之后，产生压痕的直径  $d$  被测量。

3.1.5 布氏硬度数值——是一个数，该值与试验力除以压痕表面积获得的商成正比。压痕被看做球形，且被认为具有压球的直径。

<sup>2</sup>对于参考 ASTM 标准，可访问 ASTM 网站 [www.astm.org](http://www.astm.org) 或联系 ASTM 客户服务 [service@astm.org](mailto:service@astm.org)。对于 ASTM 标准年刊的卷宗信息，可在 ASTM 网站上参考标准的文件摘要页。

<sup>3</sup>可从美国轴承制造协会（ABMA），2025M Street, NW, Suite 800, Washington, DC 20036, <http://www.americanbearings.org> 处获得。

<sup>4</sup>可从美国国家标准组织（ANSI），25W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www.ansi.org> 处获得。

- 3.1.6 布氏硬度标尺——表示布氏硬度试验使用的压球直径及试验力的特定组合的一个代号。
- 3.1.7 布氏硬度试验机——用做一般试验目的的布氏硬度试验设备。
- 3.1.8 布氏硬度标准化试验机——用做对布氏硬度试进行块标准化的布氏硬度机。标准化试验机与常规布氏硬度试验机的区别是，前者的某些参数有更小的公差。
- 3.1.9 试验力-球直径平方的比率——试验力 (kgf) 除以压头直径 (mm) 平方的比值 (见表 1)。

表 1 符号及名称

符号	意义
D	压头直径, mm
F	试验力, N
$F_{kgf}$	试验力, kgf $F_{kgf} = \frac{1}{g_n} \times F$ $g_n$ 是重力加速度, $g_n = 9.80665 \text{ kgf/N}$
d	压痕平均直径, mm $d = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{n}$ $d_1, d_2, \dots, d_n$ 是压痕的测量直径, 单位是 mm, n 是直径测量值的数目
h	压痕的深度, mm $h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$
试验力-球直径平方的比率	$\frac{F_{kgf}}{D^2}$
HBW	布氏硬度=试验力/压痕曲面面积 $= \frac{2F_{kgf}}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$

## 3.2 方程

3.2.1 布氏硬度由下式计算:

$$HBW = \frac{2F_{kgf}}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1)$$

其中:

$F_{kgf}$ =试验力, 单位为 kgf,

D=压球直径, 单位为 mm,

d=压痕的测量平均直径, mm (见表 1)。

3.2.2 布氏硬度机在每一硬度级别, 在特定的检定状态下的操作重复性 R, 通过在标准化硬度块上 n 个压痕的直径测量值的范围估计而来, 以作为性能检定的一部分, 定义为:

$$R = d_{\max} - d_{\min} \quad (2)$$

其中:

$d_{max}$  = 最大测量压痕的平均直径

$d_{min}$  = 最小测量压痕的平均直径

3.2.3 一组  $n$  个布氏硬度测量值  $H_1$ 、 $H_2$ 、...、 $H_n$  的平均  $\bar{H}$  按下式计算:

$$\bar{H} = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_n}{n} \quad (3)$$

3.2.4 布氏硬度机在每一硬度级别性能的误差  $E$  按下式计算:

$$E = \bar{H} - H_{STD} \quad (4)$$

其中:

$\bar{H}$  (方程 3) = 作为性能检定的一部分, 在标准化硬度块上得到的  $n$  个硬度值  $H_1$ 、 $H_2$ 、...、 $H_n$  的平均值

$H_{STD}$  = 标准化硬度块认证的平均硬度值

3.2.5 压痕的平均直径按下式计算:

$$d = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{n} \quad (5)$$

其中:

$d_1$ 、 $d_2$ 、...、 $d_n$  = 测量的压痕直径, mm

$n$  = 直径测量值的数目。

3.2.6 一组压痕平均直径的平均值  $\bar{d}$  按下式计算:

$$\bar{d} = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_N}{N} \quad (6)$$

其中:

$d_1$ 、 $d_2$ 、...、 $d_N$  = 压痕平均直径, mm

$N$  = 压痕数量 (见附件 A4)

## 4. 意义及用途

4.1 布氏硬度试验是一种压痕硬度试验, 能够提供金属材料的有用信息。该信息可以与金属材料的抗拉强度、耐磨抗力、延展性及其他物理特性联系, 并可在质量控制及选材过程中发挥作用。

4.2 布氏硬度试验被视为对于商业交付的验收试验是满意的, 为此, 已经在工业领域广泛应用。

4.3 在零件特定区域进行的布氏硬度试验可能不能够代表整个零件或最终产品的物理特性。

## 5. 试验原则及设备

5.1 布氏硬度试验原则——布氏硬度试验通常包括两个步骤（见图 1）。

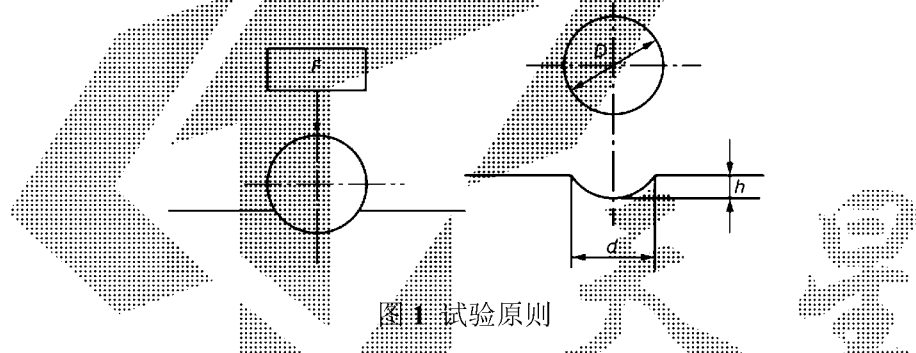
5.1.1 步骤 1——压头以垂直表面方向接触到试样，并施加试验力  $F$ 。试验力按规定的保荷时间保荷，随后移除。

5.1.2 步骤 2——应至少在互相垂直的两个方向测量压痕直径。布氏硬度值由测量直径的平均值得到。

5.2 布氏硬度试验设备——进行布氏硬度试验的设备，通常包括一台试验机，试验机能支撑试样并对与试样接触的压头施加压入力；以及一个按布氏硬度试验原则测量压痕平均直径的系统。试验设备的设计应能保证在施加力时，压头或试样不会发生晃动或水平运动。试验设备的设计应能保证对压头施加的力是平稳的，且没有冲击力。应有措施防止因系统惯性、液压系统过冲等造成的瞬时高试验力。

5.2.1 参见设备制造商说明书关于设备特性、限制及各自操作程序的描述。

5.2.2 砧座——是一个砧座或试样支撑块，应与被试验的试样相适应。所有砧座的基座面及支撑面应干净且无外来物。通常，仅在砧座不能支撑试验平面使其与压头垂直，或其被视为不安全时，砧座才需要被替换。



5.2.3 压头——布氏硬度压头应为碳化物球，有四种允许直径（1、2.5、5 及 10mm）。压头应符合附件 A3 规定的要求。

5.2.4 油污、灰尘或其他外来物不允许在压头上积聚，因为这些会影响试验结果。

5.2.5 测量装置——用做测量布氏压痕直径的测量装置，可以是硬度试验机的一部分或一个分离的独立装置。允许的测量装置被分为两个类型。A 型装置包括具有某种类型指示器的移动测量线、或电子计算机测量系统、或图像分析系统的显微镜。B 型装置是具有固定测量线的手持显微镜（通常为  $20\times$  或  $40\times$ ）。

5.2.5.1 A 型装置——A 型装置的可接受最小分辨率在表 2 给出。

5.2.5.2 B 型装置——B 型装置的刻度线允许最大间距在表 2 中给出。B 型装置不允许用来测量 2.5mm 及 1mm 压头形成的压痕。

表 2 压痕测量装置的分辨率及刻度线间距

压头直径	A 型	B 型
mm	最小显示分辨率 mm	刻度线最大间距 mm
10	0.0100	0.100
5	0.0050	0.050
2.5	0.0025	-
1	0.0020	-

5.3 检定——布氏硬度试验设备及压痕测量装置应按照附件 A1 进行周期性检定。

5.4 试块——满足附件 A4 要求的试块应被用来对试验设备按附件 A1 进行检定。

5.5 布氏硬度标尺——布氏硬度标尺为压头及试验力的组合。标准布氏硬度标尺及试验力在表 3 中给出，对应的试验力-球直径平方的比率（见表 1）为 1、1.25、2.5、5、10 及 30。布氏硬度值应按照这些标准标尺进行测定并报告。其他使用非标准试验力的标尺，可以在特定允许的情况下使用。其他标尺及相应试验力-球直径平方的比率（括号中）的例子有：

HBW10/750(7.5)、HBW10/2000(20)、HBW10/2500(25)、HBW5/187.5(7.5)及 HBW5/500(20)。

5.6 布氏硬度值的计算——布氏硬度值应按方程 1 使用压痕平均直径  $d$  来计算，或者使用从附录 X1 给出的值来计算。

5.6.1 布氏硬度值不能以一个单独的数值表示，因为有必要指出试验中使用的压头及试验力（见表 3）。布氏硬度值之后应是符号 HBW，并按以下顺序指出相关的试验条件：

5.6.1.1 压球直径，mm

5.6.1.2 代表试验力的值，kgf（见表 3）

5.6.1.3 若试验力保荷时间不是 10s-15s，还应指出保荷时间

5.6.2 上述要求的唯一例外是使用 HBW10/3000 标尺，且保荷时间是 10s-15s。仅在这种情况下，布氏硬度标尺可以以 HBW 报告。

5.6.3 示例：

220HBW=以 10mm 压头，使用 29.42kN(3000kgf)的试验力，保荷时间为 10s-15s，得到的布氏硬度值为 220。

350HBW 5/750=以 5mm 压头，使用 7.355kN(750kgf)的试验力，保荷时间为 10s-15s，得到的布氏硬度值为 350。

600HBW 1/30/20=以 1mm 压头，使用 294.2N(30kgf)的试验力，保荷时间为 20s，得到

的布氏硬度值为 600。

表 3 试验条件及推荐的硬度范围

布氏 硬度标尺	压头 直径 D mm	试验力- 直径平 方的比 率A	名义试验力, F		推荐的 硬度 范围 HBW
			N	kgf	
HBW 10/3000	10	30	29420	3000	95.5 to 650
HBW 10/1500	10	15	14710	1500	47.7 to 327
HBW 10/1000	10	10	9807	1000	31.8 to 218
HBW 10/500	10	5	4903	500	15.9 to 109
HBW 10/250	10	2.5	2452	250	7.96 to 54.5
HBW 10/125	10	1.25	1226	125	3.98 to 27.2
HBW 10/100	10	1	980.7	100	3.18 to 21.8
HBW 5/750	5	30	7355	750	95.5 to 650
HBW 5/250	5	10	2452	250	31.8 to 218
HBW 5/125	5	5	1226	125	15.9 to 109
HBW 5/62.5	5	2.5	612.9	62.5	7.96 to 54.5
HBW 5/31.25	5	1.25	306.5	31.25	3.98 to 27.2
HBW 5/25	5	1	245.2	25	3.18 to 21.8
HBW 2.5/ 187.5	2.5	30	1839	187.5	95.5 to 650
HBW 2.5/62.5	2.5	10	612.9	62.5	31.8 to 218
HBW 2.5/ 31.25	2.5	5	306.5	31.25	15.9 to 109
HBW 2.5/ 15.625	2.5	2.5	153.2	15.625	7.96 to 54.5
HBW 2.5/ 7.8125	2.5	1.25	76.61	7.8125	3.98 to 27.2
HBW 2.5/6.25	2.5	1	61.29	6.25	3.18 to 21.8
HBW 1/30	1	30	294.2	30	95.5 to 650
HBW 1/10	1	10	98.07	10	31.8 to 218
HBW 1/5	1	5	49.03	5	15.9 to 109
HBW 1/2.5	1	2.5	24.52	2.5	7.96 to 54.5
HBW 1/1.25	1	1.25	12.26	1.25	3.98 to 27.2
HBW 1/1	1	1	9.807	1	3.18 to 21.8

A见表1

## 6. 试件

6.1 对于布氏硬度试样，没有标准的形状或尺寸。将在其上获得压痕的试样应符合以下要求：

6.1.1 厚度——被试验试样的厚度应能保证试验力施加之后，试样压痕面的反面不会有凸起或其他变形出现。试样材料的厚度应至少是压痕深度 h 的 10 倍（见表 4）。表 4 也可以作为层状材料的最小厚度参考，比如涂层。

注 1——布氏硬度试验可以使用很高的试验力。在确定的试验条件下对高硬度的相对薄的材料或材料上的涂层进行试验，在负荷下试验材料有破裂或飞溅的潜在可能，会导致严重的人员损伤或设备损害。若试验在负荷下有潜在失败可能的试验，使用者应被警告以实施严

格的防护。若有担心或怀疑，不要对该材料进行试验。

6.1.2 宽度——最小宽度应符合压痕间距的要求。

6.1.3 精加工——需要时，施加压痕的表面应用锉刀锉、研磨、机加或使用研磨材料进行抛光使表面平整，以使压痕边缘能被清晰分辨保证直径的测量达到所需的精度。制样应按使试样表面硬度改变（例如，过热或冷作产生的）最小的方式进行。

表 4 基于 10 倍压痕深度的最小试样厚度

压痕直径 $d$	试样最小厚度							
	10 mm Ball		5 mm Ball		2.5 mm Ball		1 mm Ball	
	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.
0.2							0.1	0.004
0.3							0.2	0.009
0.4							0.4	0.016
0.5							0.7	0.026
0.6					0.4	0.014	1.0	0.039
0.7					0.5	0.020		
0.8					0.7	0.026		
0.9					0.9	0.033		
1.0					1.0	0.041		
1.1					1.3	0.050		
1.2			0.7	0.029	1.5	0.060		
1.3			0.9	0.034	1.8	0.072		
1.4			1.0	0.039	2.1	0.084		
1.5			1.2	0.045	2.5	0.098		
1.6			1.3	0.052				
1.7			1.5	0.059				
1.8			1.7	0.066				
1.9			1.9	0.074				
2.0			2.1	0.082				
2.2			2.6	0.100				
2.4	1.5	0.058	3.1	0.121				
2.6	1.7	0.068	3.6	0.144				
2.8	2.0	0.079	4.3	0.169				
3.0	2.3	0.091	5.0	0.197				
3.2	2.6	0.104						
3.4	3.0	0.117						
3.6	3.4	0.132						
3.8	3.8	0.148						
4.0	4.2	0.164						
4.2	4.6	0.182						
4.4	5.1	0.201						
4.6	5.6	0.221						
4.8	6.1	0.242						
5.0	6.7	0.264						
5.2	7.3	0.287						
5.4	7.9	0.312						
5.6	8.6	0.338						
5.8	9.3	0.365						

## 7. 试验程序

7.1 压痕直径应是压球直径的 24%-60%。上述范围的压痕直径近似布氏硬度值在表 3 给出。

注 2——推荐低限是因为有损伤压头的风险，并且测量压痕困难。推荐上限是因为当压痕直径接近压头直径时灵敏度会降低。对于特定的试验，厚度及间距要求可以确定最大允许



直径。

注 3——不强制要求布氏硬度试验符合表 3 的硬度标尺。但应意识到对于给定的材料，使用相同尺寸的压球但使用不同的试验力可能会得到不同的布氏硬度值。对于给定类别的材料，为得到连续标尺的值，使用单一力值以覆盖所有硬度范围可能是符合要求的。

7.2 对于硬度值超过 650 HBW 10/3000 的材料，不推荐使用布氏硬度试验。

7.3 仅在试验力-球直径平方的比率相同时（见表 3），才可以对不同标尺得到的布氏硬度值进行直接比较。在相同的试验材料上进行布氏硬度试验，但是使用了不同的试验力-球直径平方的比率，会产生不同的布氏硬度值。

7.3.1 示例——HBW10/500 标尺的试验结果通常会接近 HBW5/125 标尺的试验结果，因为其试验力-球直径平方的比率都是 5。但是在同一试验材料上，160HBW10/500 会约等于 180HBW10/3000，因为其试验力-球直径平方的比率不同（分别为 5 和 10）。

7.4 日常检查——在进行硬度试验前，应按照附件 A1 对试验设备进行日常检查。硬度测量仅能在试块的校准表面进行。也推荐在每次试验力、砧座或压头改变之后，按照附件 A1 规定的日常检查方法来检查设备的操作。

7.5 压痕程序——布氏硬度试验应按以下进行：

7.5.1 使压头以垂直于试验表面的方向与试验表面接触，且无冲击、振动或过冲。压头力的方向与试样表面应垂直。

7.5.2 在 1-8s 内施加试验力。若被证明试验结果不会受到影响，也可以使用更小的试验力施加间隔时间。

7.5.3 除以下情况外，应保持全试验力 10s-15s。

7.5.3.1 对于施加试验力后材料显示过多塑性的情况，可能需要特别考虑，因为压头会继续压入材料中。这些材料的试验可能需要使用比上述更长的试验力保荷时间，且应在产品规范中注明。若使用延长的保荷时间，保荷时间应被记录且和试验结果一起报告（见 5.6.1）。

7.5.4 在保荷时间结束时，迅速移除试验力，且无冲击或振动。

7.6 压痕测量

7.6.1 在两个互相垂直（成 90°）的方向对压痕进行测量。也可以对压痕直径进行额外的测量。应使用测量值的算术平均数来计算布氏硬度值。

7.6.2 对于例行试验，若使用 A 型装置，压痕应被测量精确至测量装置的分辨率；若使用 B 型装置，则应测量精确至刻度间距的一半。

7.6.3 在平整表面的试验，对于同一压痕最大测量直径与最小测量直径相差不能超过 0.1mm，

除非在产品规范中另有规定，如各向异性晶粒组织相差可以到 0.2mm。

7.6.4 在曲面进行的试验，该表面的曲率半径应至少为压头直径的 2.5 倍。在表面上的压痕可以是轻微椭圆而不是圆形。压痕的测量值应被认为是长轴与短轴的平均值。

7.7 压痕间距——两个相邻的压痕中心距离应至少是压痕平均直径的 3 倍。

7.7.1 任意压痕的中心到试样边缘的距离应至少是压痕平均直径的 2.5 倍。

7.8 进行布氏硬度试验的环境温度应为 10-35°C (50-90°F)。布氏硬度试验者应注意试验材料及硬度机的温度可能会影响试验结果。因此，使用者应保证试验温度不会对硬度测量值产生有害的影响。

## 8. 和其他硬度标尺或抗拉强度值的换算

8.1 没有通用方法能精确地将一种标尺的布氏硬度值换算为另一种标尺的布氏硬度值，或者换算为其他类型的硬度值，又或者是抗拉强度值。这样的换算最理想状态也仅是近似，因此换算应被避免，除非已有比较试验获得可信的近似换算关系。

注 4——金属的标准硬度换算表 E140，给出了规定材料如钢、奥氏体不锈钢、镍及高镍合金、弹壳黄铜、铜合金及合金化白口铸铁的近似换算值。

## 9. 报告

9.1 作为最小要求，试验报告应包括以下信息：

9.1.1 按照实践 E29 进行圆整到 3 位有效数字的试验布氏硬度结果  $\bar{H}$ ，包括 0；例如，225HBW、100HBW10/500、95.9HBW 或 9.10HBW5/62.5。

9.1.2 若不是使用 3000kgf (29.42kN) 试验力、10mm 压头直径或 10s-15s 的保荷时间，还应注明试验条件(见 5.6.1)。

9.1.3 若使用 A 型装置测量压痕直径，应注明使用的测量装置；若使用 B 型装置，不需要注明。

9.1.4 在环境温度超出 10-35°C (50-95°F) 时，除非已证明对试验结果无影响，还应注明环境温度。

## 10. 精度及偏差

10.1 该试验方法的精度是基于 2006 年进行的一项多实验室的 E10 试验方法研究。这代替了以前使用钢球压头的研究。八个实验室均试验了金属材料的布氏硬度。在总共 7 种具有不同硬度水平的不同材料进行了三次分析。每次分析都重复了三次。该研究的结果被编入 ASTM 研究报告内<sup>5</sup>。

10.2 重复性——在同一个实验室获得的两个实验结果，若相差超过材料的  $r_{PB}$  值则应被认为是不等效的； $r_{PB}$  间接代表在相同材料上、由相同操作者在同一天同一个实验室使用同一台设备获得的试验结果的临界差。

10.3 再现性——若两个试验结果相差超过材料的  $R_{PB}$  值，则应被认为是不等效的； $R_{PB}$  值间接代表了在相同材料上，由不同操作者在不同实验室使用不同设备获得的实验结果的差异。

1.4 按照第 10.2 节及第 10.3 节声明进行的判断应该具有约 95% 正确的概率。

10.5 实验室间研究结果概要见表 5。

10.6 偏差——在进行该研究时，没有可接受的参考材料以适于确定该试验方法的偏差，因此没有关于偏差的说明。

## 11. 关键词

11.1 布氏硬度；机械试验；金属

表 5 统计信息摘要

试块	$\bar{x}$	$Sx$	$Sr$	$SR$	$r_{PB}$	$R_{PB}$
100 HBW 5/500	101.71	2.31	0.91	2.42	2.56	6.78
170 HBW 10/1500	175.42	2.08	0.89	2.21	2.49	6.18
225 HBW 10/1500	221.83	4.00	2.20	4.38	6.16	12.28
300 HBW 10/1500	284.63	5.48	2.64	5.89	7.39	16.48
500 HBW 10/3000	502.21	11.78	4.74	12.40	13.28	34.71
300 HBW 10/3000	291.25	6.72	2.08	6.93	5.83	19.42
200 HBW 10/3000	197.71	5.64	4.47	6.72	12.51	18.80

<sup>5</sup> 支持数据已在 ASTM 国际总部归档，且可以请求研究报告 RR:E28-2013 以获得。

**A1. 布氏硬度试验设备的检定****A1.1 范围**

A1.1.1 附件 A1 规定了布氏硬度试验设备三种类型的检定程序：直接检定、间接检定及日常检定。

A1.1.2 直接检定是确认硬度试验设备的关键部件处在允差范围内的过程，其直接测量试验力、压痕测量系统及试验周期。

A1.1.3 间接检定是依靠标准化试块及压头，以周期性确认试验设备性能的过程。

A1.1.4 日常检定是在两个间接检定期间中，依靠标准化试块来监测试验设备性能的过程。

**A1.2 一般要求**

A1.2.1 试验设备应按表 A1.1 的规定，在规定的情况下按规定周期进行检定；或在出现可能影响试验设备性能的情况时也应进行检定。

A1.2.2 在检定区域的温度应使用精度至少为  $\pm 2.0^{\circ}\text{C}$  或  $\pm 3.6^{\circ}\text{F}$  的仪器进行测量。推荐在整个检定周期内对温度进行监控，记录并报告明显的温度变化。对于日常检定，检定区域的温度不需要测量。

表 A1.1 布氏硬度试验设备的检定计划

检定程序	计划
直接检定	新设备，或有可能影响试验力或测量系统应用的调整、更改或维修时。 或者试验设备没有通过间接检定。
间接检定	推荐每 12 个月进行一次，需要时可选择更短的周期。 但任何情况下都不能超过 18 个月。 当试验设备安装时（该程序仅在确认初始状态时需要，见 A1.4.4）。 当试验设备移动时（该程序仅在确认初始状态时需要，见 A1.4.4）。 若之前已证明移动不会影响硬度结果，则对于为移动目的设计的或在每次试验前需要移动的设备，该条不适用。 在直接检定后进行。
日常检定	硬度试验的每天均需要进行。 推荐压头或试验力改变时也进行日常检定。

A1.2.3 该附件要求的所有进行测量仪器应被校准，且当存在追溯系统时，应能追溯到国家标准，另有说明的除外。

A1.2.4 间接检定应在试验设备使用的地点进行。

A1.2.5 新制造的或改造的试验设备的直接检定可以在制造、改造、维修或者使用地点进行。

注 A1.1——推荐进行布氏硬度试验设备检定的校准机构，经过认证组织按照 ISO17025（或等效标准）的认证，该认证组织经过了国际实验室认证组织（ILAC）按照 ISO/IEC17011 的操作要求被认可。

### A1.3 直接检定

A1.3.1 试验设备的直接检定应在表 A1.1 规定的情况下进行。试验力、压痕测量系统及试验周期应按以下进行确认。

注 A1.2——直接检定是确定布氏硬度试验设备误差来源的重要工具。推荐试验设备周期性地直接检定，以确定设备某个部件误差没有被其他部件的误差所抵消。

A1.3.2 试验力的检定——对于使用的每一布氏硬度标尺，相应的试验力应被测量。试验力应使用具有至少 0.25% 精度的 A 类弹力测量仪表进行测量，见规程 E74 的描述。

A1.3.2.1 每个力值进行三次测量。力值应在试验中施加时进行测量，若需要使测量装置获得精确的测量结果，可以延长保荷时间。

A1.3.2.2 每个试验力值  $F$  应精确到表 3 规定值的  $\pm 1\%$ 。

A1.3.3 压痕测量系统的检定——用来确定压痕直径的测量装置应在工作范围内每隔五个进行检定，通过与精确刻度尺进行比较，如镜台测微计。用来确认 A 型及 B 型装置的镜台测微计精度至少为：对 5mm 及 10mm 压头试验为 0.005mm，对 2.5mm 及 1mm 压头试验为 0.001mm。

A1.3.3.1 对于 A 型装置，镜台测微计及测量装置在各自间隔的误差不应超过表 2 规定的对于使用压头尺寸的 A 型最小显示分辨率。

A1.3.3.2 对于 B 型装置，不可能确定的定量误差值。安放测量装置使测量装置的刻度线与镜台测微计的刻度线尽可能对其。若测量装置有刻度线不能实现，则至少使部分刻度线与镜台测微计相应的刻度线重合，之后应调整测量装置。

A1.3.4 试验周期的检定——试验设备应确认能够满足 7.5 节规定的试验周期允许偏差。试验周期的直接检定是由试验设备制造商在制造时进行确认，或在实验设备返回制造商进行维修时进行确认，或在怀疑试验周期有问题时进行确认。在其他情况下，推荐试验周期的检定作为直接检定的一部分，但是不是需要的。

A1.3.5 直接检定失败——若任何直接检定不满足规定的要求，试验设备在调整或维修前均不能使用。若调整或维修可能会影响试验力、压痕测量系统或试验周期，受影响的组件应再次进行直接检定。

#### A1.4 间接检定

A1.4.1 试验设备的间接检定应按照表 A1.1 规定的计划进行。间接检定可能需要比表 A1.1 规定的更频繁，且应基于试验设备的使用。

A1.4.2 应对试验设备在下次间接检定前需使用的每个试验力及每个压头直径进行确认。使用未按表 A1.1 中给出计划进行确认的布氏硬度标尺的硬度试验不符合本标准。

A1.4.3 用来进行间接检定的标准硬度块应符合附件 A4 的要求。硬度试验只能在硬度块的校准面上进行。

注 A1.3——适宜的标准硬度块不能够适合所有几何形状、材料或硬度范围已被公认。

A1.4.4 校准前状态——推荐对校准前状态进行评估，以作为间接检定的一部分。这对记录设备的历史性能很重要。该程序应由检定机构在任何清理、维护、调整或维修前进行。

A1.4.4.1 若对试验设备的校准前状态进行评估，评估应使用试验设备通常使用的压头进行。

A1.4.4.2 对于每一受间接检定的布氏硬度标尺，应使用一个或多个在正常试验范围内标准硬度块。

A1.4.4.3 对于每一标准硬度试验块，在试验面至少进行两次均匀分布的硬度试验。对于测量的每一标准硬度试验块，确定试验设备性能的重复性 R 及误差 E（方程 2 及方程 4）。

A1.4.4.4 重复性 R 及误差 E 应在表 A1.2 规定的公差范围内。若重复性 R 及误差 E 的计算值超出了规定误差，这是上一次间接检定后硬度试验应被怀疑的指示。

表 A1.2 试验设备的重复性及误差

标识块 硬度 HBW	重复性最大允许值, R % $\bar{d}$ (见方程 6)	最大允许误差, E % H
HBW ≤ 125	3	3
125 < HBW ≤ 225	2.5	3
HBW > 225	2	3

A1.4.5 清理及维护——需要时，按照制造商的标准或说明对试验设备进行清理及周期维护。

A1.4.6 间接检定程序——间接检定程序是为了确认将使用的所有布氏硬度标尺，其每一试验力均精确施加、每一压头尺寸均正确、及这些标尺产生的压痕尺寸范围被恰当地校准。这

通过在校准的试验块上进行布氏硬度试验来完成,校准在适合布氏硬度标尺上使用每一相应试验力及压球尺寸进行。

A1.4.6.1 硬度块的校准值及布氏硬度标尺应进行选择,以符合以下标准:

- (1) 对于将使用的每一试验力,至少对一个硬度块进行试验。
- (2) 对于将使用的每一压头尺寸,至少对两个硬度块进行试验,一个为低硬度级别,一个为高硬度级别。尽可能实际的,从商用硬度块范围内选择低硬度及高硬度级别。在使用相同压头尺寸确认超过一个布氏硬度标尺的情况下,在该布氏硬度标尺使用最高试验力及低硬度级别试块以产生最大压痕尺寸,并在该布氏硬度标尺使用最低试验力及高硬度级别试块以产生最小压痕尺寸。这两个极端的压痕尺寸可以确认测量装置的能力。试块不需要来自具有相同试验力-球直径比率的标尺。
- (3) 每一试块的校准布氏硬度标尺是将被确认标尺中的一种。
- (4) 在布氏硬度标尺应使用低硬度级别及高硬度级别的试块进行确认,但是商用的试块仅有一种硬度级别的情况下,使用这个试块进行间接检定,并按照 A1.3.3 对测量装置进行直接检定。
- (5) 对于需要确认的特定布氏硬度标尺没有商用试块时,应按照 A1.3.2 对该标尺需要的试验力值进行直接检定,并按 A1.3.3 对测量装置进行直接检定。

示例 1——

一台试验设备需要对 HBW10/3000 及 HBW5/750 标尺进行确认。对于两个压头尺寸,每个至少需要两个试块来确认,总共是四个试块:一个是 HBW10/3000 标尺的低硬度级别、一个是 HBW10/3000 的高硬度级别、一个是 HBW5/750 标尺的低硬度级别、一个是 HBW5/750 的高硬度级别。注意两个试验力均需试验。

示例 2——

一台试验设备需要对 HBW10/3000、HBW10/1500 及 HBW10/1000 标尺进行确认。每一试验力至少需要一个试块,总共是三个试块:一个是 HBW10/3000 标尺的低硬度级别、一个是 HBW10/1000 标尺的高硬度级别、一个是 HBW10/1500 标尺的任意硬度级别。最高试验力 (29420N, 3000kgf) 标尺在低硬度级别试块上试验、最低试验力 (9807N, 1000kgf) 标尺在高硬度级别试块上试验。中试验力 (14710N, 1500kgf) 标尺可在高硬度或低硬度级别试块上试验。

示例 3——

一台试验设备仅需要对 HBW10/3000 标尺进行确认。对于该确认至少需要两个试块:

一个是 HBW10/3000 标尺的低硬度级别、一个是 HBW10/3000 的高硬度级别。在这种情况下，尽管只有一个布氏硬度标尺需要确认，但却需要两个不同硬度级别的试块。

A1.4.6.2 在进行硬度试验的间接检定前，应测量两个标准压痕的直径（见 4.5.6）以对测量设备进行间接检定，标准压痕在将用作间接检定的标准硬度块上选取。确定每个标准硬度块上的标准压痕位置。两个将测量的标准压痕应是具有最小直径及最大直径的。对于 A 型装置，测量值应与认证值相差不超过 0.5%。对于 B 型装置，10mm 压头估计的测量值与认证值相差不超过  $\pm 0.02\text{mm}$ ，5mm 压头估计的测量值与认证值相差不超过  $\pm 0.01\text{mm}$ 。若任何差异超过规定值，测量设备应按照 A1.3.3 进行直接检定。作为测量标准压痕的选择，测量装置也可以直接按照 A1.3.3 进行直接检定。

A1.4.6.3 试验设备应用使用者通常用做试验的压头进行确认。

A1.4.6.4 对于标准硬度块，使用 5mm 或 10mm 压头时应进行三次在试验面均匀分布的试验，而使用 2.5mm 或 1mm 压头时应进行五次。在将确认每一布氏硬度标尺的每一硬度级别，确定试验设备性能的重复性 R 及误差 E（方程 2 及方程 4）。重复性 R 及误差 E 应在表 A1.2 规定的公差范围内。

A1.4.6.5 若使用使用者压头测量的误差 E 或重复性 R 超出规定公差，间接检定试验可以使用另一个压头再次进行。

A1.4.6.6 只有在用使用者压头得到的试验设备测量重复性及误差符合规定公差时，间接检定才能通过。

A1.4.7 在两个间接检定周期内需要更换压头时，新的压头应经过确认以用于规定试验设备。使用者可以按照在 A1.4.4 给出的初始状态确认程序进行确认。

## A1.5 日常检定

A1.5.1 日常检定被用做在间接检定间隔、由使用者对试验设备性能进行监测的工具。最少要求是，对于每一将使用的布氏硬度标尺，日常检定应按照表 A1.1 给出的计划进行。

A1.5.2 日常检定程序——在进行日常检定使用的程序如下。

A1.5.2.1 对于每一将使用的布氏硬度标尺，在其使用前，应至少对一块满足附件 A4 要求的标准块进行试验。若硬度块是商用的，应选择与将被测量材料硬度值近似的硬度块硬度级别。

A1.5.2.2 用于日常检定的压头应是通常用于试验的压头。

A1.5.2.3 在每个日常检定硬度块上进行至少两次硬度试验。注意遵循 7.7 给出的间距要求。

A1.5.2.4 对于每一测量的标准硬度块，确定试验设备性能的误差 E（方程 4）。若任何硬度试验值与硬度块认证值之间的差异超过表 A1.2 给出的最大允许误差的容差，则也应确定重



复性 R (方程 2)。

A1.5.2.5 若每一硬度块误差 E 及重复性 R (计算了的话) 在表 A1.2 给出的公差范围内, 则试验设备及相应压头可被认为性能符合要求。

A1.5.2.6 若任意硬度块的误差 E 及重复性 R (计算了的话) 超过规定的公差, 日常检定可以使用不同的压头重复进行。若任意硬度块的误差 E 及重复性 R 再次超出规定的公差, 应进行间接检定。当试验设备没有通过日常检定时, 最后一次有效日常检定起的硬度试验可以被怀疑。

A1.5.2.7 若布氏硬度试验设备使用硬度块的日常检定没有通过, 测量装置应通过测量标准硬度块的标准压痕进行确认 (见 A4.5.6)。测量值与认证值的差异应在 A1.4.6.2 给出的公差范围内。若差异超出范围, 测量装置应按照 A1.3.3 进行直接检定。

注 A1.4——强烈推荐使用公认的过程控制技术对日常检定的结果进行记录, 比如但不限于, X-棒 (测量平均值) 及 R-图 (测量范围), 以及直方图。

## A1.6 检定报告

A1.6.1 对于直接检定与间接检定, 需要检定报告。对于日常检定, 则不需要检定报告。

A1.6.2 检定报告应由进行检定的人员编制, 在检定操作的结果可获取时应包括以下信息。

A1.6.3 直接检定:

A1.6.3.1 引用本 ASTM 试验方法。

A1.6.3.2 硬度试验设备的标识, 包括序列号及型号。

A1.6.3.3 压痕测量设备的标识, 包括序列号、型号及为 A 型装置还是 B 型装置。

A1.6.3.4 用来检定的所有装置 (弹性检验装置) 的标识, 包括序列号、以及可追溯到的标准编号。

A1.6.3.5 以精度至少为 1°C 报告检定时的试验温度。对于日常检定, 不需要记录检定区域的温度, 除非温度超出了推荐限值或者对试验结果造成了影响。

A1.6.3.6 用来确定试验设备是否满足检定要求的单独测量值及计算结果。推荐将用来确定试验设备是否满足检定要求的计算结果的不确定性也一并报告。

A1.6.3.7 适用时, 应描述对试验设备所做的调整及维护。

A1.6.3.8 检定日期, 并给出检定机构或部门。

A1.6.3.9 进行检定操作的人员签名。

A1.6.4 间接检定:

A1.6.4.1 提及本 ASTM 试验方法。

A1.6.4.2 硬度试验设备的标识，包括序列号及型号。

A1.6.4.3 所有用做检定的装置（试块、压头等）标识，包括序列号、以及可追溯到的标准编号。

A1.6.4.4 以精度为 1°C 报告检定时的试验温度。

A1.6.4.5 检定的布氏硬度标尺。

A1.6.4.6 用来确定试验设备是否满足检定要求的单独测量值及计算结果。若进行了校准前状态确认，则确定试验设备校准前状态的测量值也应被包括。推荐将用来确定试验设备是否满足检定要求的计算结果的不确定性也一并报告。

A1.6.4.7 适用时，应描述对试验设备所做的调整及维护。

A1.6.4.8 检定日期，并给出检定机构或部门。

A1.6.4.9 进行检定操作的人员签名。

A1.6.5 日常检定：

A1.6.5.1 不要求检定报告，但是，推荐保存日常检定的结果，包括检定日期、测量结果、硬度块的认证值、硬度块编号及进行检定的人员名字等（也见注 A1.4）。这些记录可以评估硬度试验设备随时间的性能。

天星

### A2.1 范围

A2.1.1 附件 A2 规定了布氏硬度标准化设备的性能、用途、周期检定及监控要求。布氏硬度标准化设备与布氏硬度试验设备不同，其在某些性能属性上具有更严格的公差，如使用的试验力及压痕测量装置。布氏硬度标准化设备用来对布氏硬度块进行标准化，如附件 A4 所述。

### A2.2 认证

A2.2.1 对布氏硬度标准化设备进行直接和/或间接检定的机构应由认证机构按照 ISO17025（或等效标准）的要求进行认证，认证机构已按照 ISO/IEC17011 的要求通过国际实验室认证组织（ILAC）的认证。通过认证能对布氏硬度标准化设备进行检定的机构也可以对其自己的标准化设备进行检定。标准化实验室应有认证的证书/说明以标明认证中包括的检定类型（直接和/或间接）及布氏硬度标尺。

注 A2.1——认证是该标准本版次的唯一要求。

### A2.3 设备

A2.3.1 标准化设备应能满足第 5 节规定的用于布氏硬度试验的要求，且应符合以下额外要求。

A2.3.2 标准化设备应设计满足在检定时操作者能够选择每个力值，而无能力去调整远离检定时设定阈值。

A2.3.3 测量装置——测量装置应是第 5.2.5 节规定的 A 型装置。用做测量压痕直径的显微镜或其他测量装置，其测微标尺分格应能够按照表 A2.1 规定的公差对直径进行估读。

A2.3.4 压头——应使用附件 A3 规定的压头。

A2.3.5 试验周期——标准化设备应有能力满足期望的试验周期参数值，该参数值还应能够符合表 A2.2 对试验周期每一部分规定的公差。

### A2.4 实验室环境

A2.4.1 标准化设备应位于一个对温度及相对湿度进行控制的房间，且这些条件应符合表 A2.3 规定的公差。温度及相对湿度测量仪表的精度在表 A2.3 中给出。

A2.4.2 在标准化前及整个标准化程序中，标准化实验室的温度及相对湿度均应被监控。

A2.4.3 在标准化前，标准化设备、压头及需标准块的试块必须在符合表 A2.3 公差要求的环境下保持至少 1 小时。

A2.4.4 在整个标准化过程中，标准化设备应避免任何可能影响测量的振动。

### A2.5 标准化设备的检定

A2.5.1 标准化设备应按表 A2.4 规定的计划进行周期性的检定，或在环境发生可能影响标准化设备性能时进行检定。

注 A2.2——周期性直接检定（每 12 个月）是该标准本版次的新要求。在本标准的以前版次中，直接检定仅用作对设备检定的间接检定（不再需要）的一种选择。

表 A2.1 压痕测量设备的精度

压头直径 mm	最小精度 mm
10	±0.002
5	±0.002
2.5	±0.001
1	±0.001

表 A2.2 试验周期要求

试验周期参数	容差范围
压头接触速率	≤1mm/s
施加试验力的时间	2.0-8.0s
试验力保荷时间	10-15s

表 A2.3 标准化实验室环境要求

环境参数	容差	测量仪表的精度
温度	23±2°C (73±4°F)	±1°C (2°F)
相对湿度	≤70%	±10%

表 A2.4 布氏硬度标准化设备检定计划

检定	计划
直接检定	在标准化实验前，最多 12 个月。 标准化设备是新的，移动或经过调整、修改或维修时，这些调整、修改或维修可能会影响试验力、压痕测量系统或试验周期的应用。
监控	硬度块将校准的每天。或者直接检定或者性能。

A2.5.2 在进行标准化的每天，标准化设备应经过监控检定，按照表 A2.4 给出的计划。

A2.5.3 本附件用做测量的所有装置应经过校准，除非另有说明，在存在追溯系统时应能追溯到国家标准。

A2.5.4 标准化设备应在其使用地点进行确认。

## A2.6 直接检定程序

A2.6.1 按照 A2.4 给出的程序对标准化设备进行直接检定。

A2.6.2 进行清理及维护——需要时，应按照制造商的标准及说明在进行直接或间接检定前，

对标准化设备进行清理及周期维护。

**A2.6.3 试验力的确认**——对于将使用的每一布氏硬度标尺，相关的试验力应被测量。试验力应使用一个具有至少 0.05%精度的 AA 级弹力测量装置进行测量，如规程 E74 的描述。

**A2.6.3.1** 对每个力值进行 3 次测量。力值应在试验中施加时进行测量。不允许延长保荷时间以获得力值的测量值。在测量期间不允许任何调整。

**A2.6.3.2** 每一试验力  $F$  应精确到表 3 中距规定的名义试验力的 0.25% 以内。

**A2.6.4 压痕测量系统的确认**——用来测定压痕直径的测量装置应在工作范围内每隔 5 个被验证，使用如镜台测微计或其他合适方法进行，以确保测量值的精度在表 A2.5 关于将测量压痕尺寸的公差范围内。镜台测微计的精度应为 0.00025mm。

**A2.6.5 试验周期的确认**——标准化设备应确认有能力符合表 A2.2 规定的试验周期公差范围。

**A2.6.6 压球**——在进行直接检定时，所有已使用的压头球应被新的未使用的且符合附件 A3 要求的压球替代。

**A2.6.7 直接检定失败**——若任何直接检定不符合规定要求，在调整或维修前标准化设备不能使用。任何可能受调整或维修影响的参数应被直接检定进行再次确认。

## **A2.7 监控检定程序**

**A2.7.1** 本节规定了用于标准硬度设备的监控程序。

**A2.7.2 标准化实验室**应在校准试块的每天，按照表 A2.4 规定的计划，进行监控检定以对标准化设备进行监控。监控检定应在校准试块前进行，并可以使用直接检定或使用试块进行性能确认。

**A2.7.3 监控直接检定**——若监控检定通过直接检定进行，当天将使用的力值水平及压球尺寸应符合 A2.6 的要求。

**A2.7.4 监控性能确认**——当监控检定是以性能确认方式完成，应进行以下监控程序。

**A2.7.4.1** 根据当天需校准硬度块的布氏硬度标尺，监控试验应在将使用每个力值水平的至少一个监控硬度块，及将使用的每个压头尺寸的至少一个监控硬度块上进行。监控硬度块应符合附件 A4 的要求。每个监控硬度块应选择其硬度水平在对应硬度标尺的中间范围。

**A2.7.4.2** 在硬度块表面至少进行两次均匀分布的硬度试验。对于标准化设备使用被测量的每一监控硬度块的性能的误差  $E$ （方程 4）及重复性  $R$ （方程 2）应进行确定。若每一硬度块的误差  $E$  及重复性  $R$  均在表 A2.6 给出的公差范围内，使用该压头的标准化设备可以被认为性能合格。

表 A2.5 压痕测量设备的最大误差

压头直径 mm	最大误差 mm
10	±0.004
5	±0.004
2.5	±0.002
1	±0.002

A2.7.4.3 若任何测量值的误差 E 或重复性 R 超出规定的公差范围，标准化设备不应认为通过了监控检定，且不应用于标准化。当标准试验的监控检定失败时，从上一次有效监控检定起所做的标准化可以被怀疑。

A2.7.5 监控方法——控制表或其他可比的方法应用来对直接检定之间的标准化设备性能进行监控。控制表提供了一种发现统计学控制不足的方法。有很多出版物讨论了控制表的设计及使用，如 ASTM《数据描述及控制表分析手册：第 6 版》，由关于质量及统计的 E11 委员会编制。标准化实验室应创建并使用对特定用途最好应用的控制表。

注 A2.3——控制表数据应由实验室基于以往经验进行解释。是否需要纠正措施不仅取决于数据超出控制限值，也取决于以前导致该情况发生的数据。然而，作为一般原则，一旦标准化设备确定纳入控制中，单独的一簇数据超出控制限值应提醒实验室有可能的问题。需要采取的措施等级取决于设备的历史性能。可以采取预警措施，如增加监控频率。也可采取纠正措施，如进行新的直接及间接检定。

## A2.8 检定报告

### A2.8.1 直接检定：

A2.8.1.1 提及本 ASTM 实验方法。

A2.8.1.2 标准硬度设备的标识，包括序列号、制造商及型号。

A2.8.1.3 所有在检定中使用设备（弹性检定设备等）的标识，包括序列号及能追溯到的标准编号。

A2.8.1.4 以至少 1°C 的精度报告检定时的试验温度。

A2.8.1.5 用来确定标准化设备是否满足检定要求的单独测量值及计算结果。推荐报告在计算结果中使用的不确定度，以确定标准试验设备是否满足检定要求。

表 A2.6 标准化设备的最大允许重复性及误差

标准硬度块硬度 HBW	最大允许重复度 R % $\bar{d}$ (见方程 3)	最大允许误差 E % H
HBW $\leq$ 125	2	2
125 < HBW $\leq$ 225	2	2
HBW > 225	1.5	1.5

A2.8.1.6 适用时，还应报告对标准化设备所做的调整与维护描述。

A2.8.1.7 检定日期，以及检定结构或部门。

A2.8.1.8 进行检定的人员签名。

A2.8.1.9 认证证书编号。

A2.8.2 间接检定：

A2.8.2.1 提及本 ASTM 实验方法。

A2.8.2.2 标准硬度设备的标识，包括序列号、制造商及型号。

A2.8.2.3 所有在检定中使用装置（硬度块、压头等）的标识，包括序列号及能追溯到的标准编号。

A2.8.2.4 以至少 1°C 的精度报告检定时的试验温度。

A2.8.2.5 检定的布氏硬度标尺。

A2.8.2.6 用来确定标准化设备是否满足检定要求的单独测量值及计算结果。若有，还应包括用来确定标准化设备初始状态的测量。推荐报告在计算结果中使用的不确定度，以确定标准试验设备是否满足检定要求。

A2.8.2.7 适用时，还应报告对标准化设备所做的调整与维护描述。

A2.8.2.8 检定日期，以及检定结构或部门。

A2.8.2.9 进行检定的人员签名。

A2.8.2.10 认证证书编号。

A2.8.3 监控检定

A2.8.3.1 不需要检定报告，但是，需要保存监控检定结果的记录，见 A2.7.5。

## A3. 布氏硬度压头的标准化

### A3.1 范围

A3.1.1 附件 3 规定了布氏硬度压头的要求。该附件包括了用于所有布氏硬度标尺的布氏碳化钨球。

A3.2 进行压头标准化工作的机构应由认证机构按照 ISO17025（或等效标准）的要求进行认证，认证机构已按照 ISO/IEC17011 的要求通过国际实验室认证组织（ILAC）的认证。标准化实验室应有认证的证以表明认证中包括的压头级别与类型。

注 A3.1——认证是该标准本版次的新要求。

### A3.3 一般要求

A3.3.1 用做布氏硬度标尺的四种标准碳化钨球直径在表 3 中给出（10mm、5 mm、2.5 mm 及 1mm）。

A3.3.2 除非另有规定，当存在追溯系统时，该标准所有测量需要的设备应经过校准且能追溯到国家标准。

A3.3.3 压头通常由支座、量及压球组成。若压球符合本节的所有要求，则在不影响组件检定的情况下压球可以更换。

### A3.4 压球

A3.4.1 压球应按照表 A3.1 规定的要求对正确的几何形状、硬度、密度及化学成分进行确认。

A3.4.2 当按照 ASTM E92 在球曲面进行测试时，压球的硬度不应少于 1500 HV10；或者按照 ASTM E 92 或试验方法 E384 在球截面的平面上测试时，压头球的硬度不应少于 1500HV1。在球曲面上测试时，以高度结果必须按照 ASTM E92 规定的曲面进行修正。

A3.4.3 球体材料密度硬度  $14.8\text{g/cm}^3 \pm 0.2\text{g/cm}^3$ ，并符合以下化学成分要求：

总其余碳化物	最多 2.0%
钴（Co）	5.0-7.0%
碳化钨（WC）	余量

A3.4.4 至少在三个位置测量球的直径，其与名义直径的差值不应超过表 A3.2 给出的容差范围。

A3.4.5 球体的平均粗糙度不应超过 0.00005mm（2  $\mu$  in.）。

注 A3.2——符合 ABMA 等级 24 的球满足 ABMA 标准 10-1989 中规定的尺寸及表面光洁度。



表 A3.1 压头检定计划

检定内容	计划
几何特征、密度、化学成分及硬度	新压头时

表 A3.2 压球的直径公差

球直径, mm	mm
10	$\pm 0.005$
5	$\pm 0.004$
2.5	$\pm 0.003$
1	$\pm 0.003$

A3.4.6 为确认球的密度、尺寸、表面光洁度及硬度，在一批中随机选取一个样品进行试验被认为是足够的。已对硬度进行确认的球应丢弃。

A3.4.7 为满足以上对于压头球的要求，球标准化实验室可以对球进行确认以满足这些要求，或者从球制造商获得球认证的证书。

### A3.5 认证证书

A3.5.1 最小要求：对于每一压头球应具有一个附加以下信息的试验证书。

A3.5.1.1 引用该 ASTM 试验方法。

A3.5.1.2 该批的编号。

A3.5.1.3 日期。

A3.5.1.4 一份表明压头符合所有对布氏硬度压头几何形状、密度及硬度要求的声明。

A3.5.1.5 认证证书编号。

## A4. 布氏硬度块的标准化

### A4.1 范围

A4.1.1 附件 4 规定了对布氏硬度试块进行标准化的要求及程序。这些标准化硬度块将被用作对布氏硬度试验设备性能的确证，按附件 A1 规定的日常检定或间接检定。标准化硬度块应被用做按附件 A2 对布氏硬度标准化设备的监控检定。

### A4.2 认证

A4.2.1 对硬度块进行标准化工作的机构应由认证机构按照 ISO17025（或等效标准）的要求进行认证，认证机构已按照 ISO/IEC17011 的要求通过国际实验室认证组织(ILAC)的认证。标准化机构应有认证的证书/认证范围以标明认证中包括的布氏硬度标尺，以及硬度块标准化能追溯的标准。

注 A4.1——认证是该标准本版次的新要求。

### A4.3 制造

A4.3.1 对硬度块的关注点在于所使用的材料及制造工艺，其会得到需要的结构均匀性及稳定性，以及表面硬度的均匀性。

A4.3.2 由钢制成的试块，在制造过程结束时应进行消磁。

A4.3.3 为保证在标准化之后，试验表面的材料不被去除，一个记号应标识在试验面上。标记应是不能被任何方法去除，除非去除试样表面的材料。

A4.3.4 标准化硬度块应满足表 A4.1 的物理要求。

表 A4.1 标准化硬度块的物理要求

试块参数	公差	
厚度	$\geq 16.0\text{mm}$	10mm 压头试验
	$\geq 12.0\text{mm}$	5mm 压头试验
	$\geq 6.0\text{mm}$	更小的压头试验
试验表面面积	$\leq 150\text{cm}^2$	$\geq 5\text{mm}$ 压头试验
	$\leq 40\text{cm}^2$	$< 5\text{mm}$ 压头试验
平面度偏差(试验面及底面)	$\leq 0.02\text{mm}$	$\geq 5\text{mm}$ 压头试验
	$\leq 0.005\text{mm}$	$< 5\text{mm}$ 压头试验
平行度偏差(试验面及底面)	$\leq 0.0008\text{mm/mm}$	$\geq 5\text{mm}$ 压头试验
	$\leq 0.0002\text{mm/mm}$	$< 5\text{mm}$ 压头试验
平均试验表面粗糙度	$\leq 0.0003\text{mm Ra}$	10mm 压头试验
	$\leq 0.00015\text{mm Ra}$	$< 10\text{mm}$ 压头试验

### A4.4 一般要求

A4.4.1 标准化试验室环境、标准化设备及标准化试验周期应符合附件 A2 的要求。

A4.4.2 本附件所有用做测量的装置应经过校准，且存在追溯系统时应追溯到国家标准，另有说明的除外。

#### A4.5 标准化程序

A4.5.1 试块通过校准试验表面的平均硬度来进行标准化。试块仅一个试验表面需要被校准。试块追溯的布氏硬度标准应在证书中注明。

A4.5.2 标准化程序包括使用适于硬度范围的试验力及压头类型在试块上进行硬度试验。在试验面至少进行五次硬度试验，且试验在试验面上均匀分布。

A4.5.3 使用方程 5 计算每个压痕的平均直径，且使用方程 6 计算平均直径的平均值  $\bar{d}$ 。

A4.5.4 按下式计算测量值的范围  $d_R$ 。

$$d_R = d_{\max} - d_{\min} \quad (\text{A4.1})$$

其中：

$d_{\max}$  = 最大测量压痕的平均直径，

$d_{\min}$  = 最小测量压痕的平均直径

A4.5.4.1 测量值的范围  $d_R$  表明了试块硬度的不均匀性。测量值的范围  $d_R$  应符合表 A4.2 的公差要求才能被接受。

表 A4.2 标准化硬度块的最大允许不均匀性

标准试块硬度 HBW	测量值最大范围, $d_R$ % $\bar{d}$
$\text{HBW} \leq 225$	2
$\text{HBW} > 225$	1

A4.5.5 试块的标准化值被定义为标准化测量值  $\bar{H}$  的平均值。

A4.5.6 标准压痕——除了标定试验表面的平均硬度之外，一个或多个标定压痕应用来证明直径的测量值，并被称为标准压痕。标准压痕将被测量，以作为直接检定及日常检定的一部分。

#### A4.6 标记

A4.6.1 标定试验表面是上表面，试块的标记区域应是正直的。

A4.6.2 每一标准化硬度块应按以下进行标记：

A4.6.2.1 试块的标准化硬度值  $\bar{H}$  应按照实践 E29 圆整到不超过 3 位有效数字，例如，125HBW、99HBW 或 99.2HBW。

A4.6.2.2 标识参考压痕。

A4.6.2.3 在试验表面上做标记，若试块被重新打磨则标记会被除去。

A4.6.2.4 唯一的序列号。

A4.6.2.5 标准化年份。标准化年份作为试块序列号的一部分就足够了。

## A4.7 证书

A4.7.1 作为最小要求，每一标准化硬度块应附有一份来自标准化实验室的证书，其包括以下标准化信息：

A4.7.1.1 提及本 ASTM 试验方法。

A4.7.1.2 试块的序列号。

A4.7.1.3 单个标准化试验的结果，包括：

(1) N 个压痕的平均直径  $d_1$ 、 $d_2$ 、...、 $d_n$ （见方程 A4.1）。

(2) 平均直径的平均值  $\bar{d}$ （见方程 A4.1）。

(3) 计算的硬度值  $H_1$ 、 $H_2$ 、...、 $H_n$ 。

(4) 按照实践 E29 圆整到三位有效数字的平均硬度值  $\bar{H}$ ，例如，125HBW、99.2HBW。

A4.7.1.4 有关参考压痕位置、测量直径的取向及参考压痕直径认证值（见 A4.5.6）的信息。

A4.7.1.5 硬度块能追溯到的维护标准布氏硬度标尺的机构。

A4.7.1.6 标准化日期。

A4.7.1.7 认证机构的认证编号。

(告知性附录)

## X1. 布氏硬度数值表

表 X1.1 布氏硬度数值

注 1——表中给出的布氏硬度值仅是布氏硬度方程的解，包括超出推荐范围的压痕硬度。这些值以斜体表示。

Diameter of Indentation: 压痕直径

Ball: 球

Brinell Hardness Number: 布氏硬度值

Diameter of Indentation, $d$ (mm)				Brinell Hardness Number						
10 mm	5 mm	2.5 mm	1 mm	HBW 10/3000	HBW 10/1500	HBW 10/1000	HBW 10/500	HBW 10/250	HBW 10/125	HBW 10/100
				HBW 5/750		HBW 5/250	HBW 5/125			
ball	ball	ball	ball	HBW 2.5/187.5		HBW 2.5/62.5	HBW 2.5/31.25		HBW 2.5/15.625	HBW 2.5/7.8125
				HBW 1/30		HBW 1/10	HBW 1/5		HBW 1/2	HBW 1/1.25
2.00	1.000	0.5000	0.2000	945	473	315	158	78.8	39.4	31.5
2.01	1.005	0.5025	0.201	936	468	312	156	78.0	39.0	31.2
2.02	1.010	0.5050	0.202	928	463	309	154	77.2	38.6	30.9
2.03	1.015	0.5075	0.203	917	459	306	153	76.4	38.2	30.6
2.04	1.020	0.5100	0.204	908	454	303	151	75.7	37.8	30.3
2.05	1.025	0.5125	0.205	899	450	300	150	74.9	37.5	30.0
2.06	1.030	0.5150	0.206	890	445	297	148	74.2	37.1	29.7
2.07	1.035	0.5175	0.207	882	441	294	147	73.5	36.7	29.4

TABLE X1.1 Continued

Diameter of Indentation, $d$ (mm)				Brinell Hardness Number						
				HBW 10/3000	HBW 10/1500	HBW 10/1000	HBW 10/500	HBW 10/250	HBW 10/125	HBW 10/100
10 mm	5 mm	2.5 mm	1 mm	HBW 5/750		HBW 5/250	HBW 5/125	HBW 5/62.5	HBW 5/31.25	HBW 5/25
ball	ball	ball	ball	HBW 2.5/187.5		HBW 2.5/62.5	HBW 2.5/31.25	HBW 2.5/15.625	HBW 2.5/7.8125	HBW 2.5/6.25
				HBW 1/30		HBW 1/10	HBW 1/5	HBW 1/2	HBW 1/1.25	HBW 1/1
2.06	1.040	0.5200	0.206	873	437	291	146	72.8	36.4	29.1
2.09	1.045	0.5225	0.209	865	432	288	144	72.1	36.0	28.8
2.10	1.050	0.5250	0.210	856	428	285	143	71.4	35.7	28.5
2.11	1.055	0.5275	0.211	848	424	283	141	70.7	35.3	28.3
2.12	1.060	0.5300	0.212	840	420	280	140	70.0	35.0	28.0
2.13	1.065	0.5325	0.213	832	416	277	139	69.4	34.7	27.7
2.14	1.070	0.5350	0.214	824	412	275	137	68.7	34.4	27.5
2.15	1.075	0.5375	0.215	817	408	272	136	68.1	34.0	27.2
2.16	1.080	0.5400	0.216	809	405	270	135	67.4	33.7	27.0
2.17	1.085	0.5425	0.217	802	401	267	134	66.8	33.4	26.7
2.18	1.090	0.5450	0.218	794	397	265	132	66.2	33.1	26.5
2.19	1.095	0.5475	0.219	787	393	262	131	65.6	32.8	26.2
2.20	1.100	0.5500	0.220	780	390	260	130	65.0	32.5	26.0
2.21	1.105	0.5525	0.221	772	386	257	129	64.4	32.2	25.7
2.22	1.110	0.5550	0.222	765	383	255	128	63.8	31.9	25.5
2.23	1.115	0.5575	0.223	758	379	253	126	63.2	31.6	25.3
2.24	1.120	0.5600	0.224	752	376	251	125	62.6	31.3	25.1
2.25	1.125	0.5625	0.225	745	372	248	124	62.1	31.0	24.8
2.26	1.130	0.5650	0.226	738	369	246	123	61.5	30.8	24.6
2.27	1.135	0.5675	0.227	732	366	244	122	61.0	30.5	24.4
2.28	1.140	0.5700	0.228	725	363	242	121	60.4	30.2	24.2
2.29	1.145	0.5725	0.229	719	360	240	120	59.9	29.9	24.0
2.30	1.150	0.5750	0.230	712	356	237	119	59.4	29.7	23.7
2.31	1.155	0.5775	0.231	706	353	235	118	58.8	29.4	23.5
2.32	1.160	0.5800	0.232	700	350	233	117	58.3	29.2	23.3
2.33	1.165	0.5825	0.233	694	347	231	116	57.8	28.9	23.1
2.34	1.170	0.5850	0.234	688	344	229	115	57.3	28.7	22.9
2.35	1.175	0.5875	0.235	682	341	227	114	56.8	28.4	22.7
2.36	1.180	0.5900	0.236	676	338	225	113	56.3	28.2	22.5
2.37	1.185	0.5925	0.237	670	335	223	112	55.9	27.9	22.3
2.38	1.190	0.5950	0.238	665	332	222	111	55.4	27.7	22.2
2.39	1.195	0.5975	0.239	659	330	220	110	54.9	27.5	22.0
2.40	1.200	0.6000	0.240	653	327	218	109	54.5	27.2	21.8
2.41	1.205	0.6025	0.241	648	324	216	108	54.0	27.0	21.6
2.42	1.210	0.6050	0.242	643	321	214	107	53.5	26.8	21.4
2.43	1.215	0.6075	0.243	637	319	212	106	53.1	26.5	21.2
2.44	1.220	0.6100	0.244	632	316	211	105	52.7	26.3	21.1
2.45	1.225	0.6125	0.245	627	313	209	104	52.2	26.1	20.9
2.46	1.230	0.6150	0.246	621	311	207	104	51.8	25.9	20.7
2.47	1.235	0.6175	0.247	616	308	205	103	51.4	25.7	20.5
2.48	1.240	0.6200	0.248	611	306	204	102	50.9	25.5	20.4
2.49	1.245	0.6225	0.249	606	303	202	101	50.5	25.3	20.2
2.50	1.250	0.6250	0.250	601	301	200	100	50.1	25.1	20.0
2.51	1.255	0.6275	0.251	597	298	199	99.4	49.7	24.9	19.9
2.52	1.260	0.6300	0.252	592	296	197	98.8	49.3	24.7	19.7
2.53	1.265	0.6325	0.253	587	294	196	97.8	48.9	24.5	19.6
2.54	1.270	0.6350	0.254	582	291	194	97.1	48.5	24.3	19.4
2.55	1.275	0.6375	0.255	578	289	193	96.3	48.1	24.1	19.3
2.56	1.280	0.6400	0.256	573	287	191	95.5	47.8	23.9	19.1
2.57	1.285	0.6425	0.257	569	284	190	94.8	47.4	23.7	19.0
2.58	1.290	0.6450	0.258	564	282	188	94.0	47.0	23.5	18.8
2.59	1.295	0.6475	0.259	560	280	187	93.3	46.6	23.3	18.7
2.60	1.300	0.6500	0.260	555	278	185	92.8	46.3	23.1	18.5
2.61	1.305	0.6525	0.261	551	276	184	91.8	45.9	23.0	18.4
2.62	1.310	0.6550	0.262	547	273	182	91.1	45.6	22.8	18.2
2.63	1.315	0.6575	0.263	543	271	181	90.4	45.2	22.6	18.1
2.64	1.320	0.6600	0.264	538	269	179	89.7	44.9	22.4	17.9
2.65	1.325	0.6625	0.265	534	267	178	89.0	44.5	22.3	17.8
2.66	1.330	0.6650	0.266	530	265	177	88.4	44.2	22.1	17.7
2.67	1.335	0.6675	0.267	526	263	175	87.7	43.8	21.9	17.5
2.68	1.340	0.6700	0.268	522	261	174	87.0	43.5	21.8	17.4
2.69	1.345	0.6725	0.269	518	259	173	86.4	43.2	21.6	17.3
2.70	1.350	0.6750	0.270	514	257	171	85.7	42.9	21.4	17.1
2.71	1.355	0.6775	0.271	510	255	170	85.1	42.5	21.3	17.0
2.72	1.360	0.6800	0.272	507	253	169	84.4	42.2	21.1	16.9
2.73	1.365	0.6825	0.273	503	251	168	83.8	41.9	20.9	16.8
2.74	1.370	0.6850	0.274	499	250	166	83.2	41.6	20.8	16.6

TABLE X1.1 Continued

Diameter of Indentation, $d$ (mm)				Brinell Hardness Number						
10 mm	5 mm	2.5 mm	1 mm	HBW 10/3000	HBW 10/1500	HBW 10/1000	HBW 10/500	HBW 10/ 250	HBW 10/ 125	HBW 10/100
				HBW 5/750		HBW 5/250	HBW 5/125	HBW 5/62.5	HBW 5/31.25	HBW 5/15.625
ball	ball	ball	ball	HBW 2.5/187.5		HBW 2.5/62.5	HBW 2.5/31.25	HBW 2.5/ 15.625	HBW 2.5/ 7.8125	HBW 2.5/6.25
				HBW 1/30		HBW 1/10	HBW 1/5	HBW 1/2	HBW 1.25	HBW 1/1
2.75	1.375	0.6875	0.275	485	248	165	82.6	41.3	20.6	16.5
2.76	1.380	0.6900	0.276	482	246	164	81.9	41.0	20.5	16.4
2.77	1.385	0.6925	0.277	488	244	163	81.3	40.7	20.3	16.3
2.78	1.390	0.6950	0.278	485	242	162	80.8	40.4	20.2	16.2
2.79	1.395	0.6975	0.279	481	240	160	80.2	40.1	20.0	16.0
2.80	1.400	0.7000	0.280	477	239	159	79.6	39.8	19.9	15.9
2.81	1.405	0.7025	0.281	474	237	158	79.0	39.5	19.8	15.8
2.82	1.410	0.7050	0.282	471	235	157	78.4	39.2	19.6	15.7
2.83	1.415	0.7075	0.283	467	234	156	77.9	38.9	19.5	15.6
2.84	1.420	0.7100	0.284	464	232	155	77.3	38.7	19.3	15.5
2.85	1.425	0.7125	0.285	461	230	154	76.8	38.4	19.2	15.4
2.86	1.430	0.7150	0.286	457	229	152	76.2	38.1	19.1	15.2
2.87	1.435	0.7175	0.287	454	227	151	75.7	37.8	18.9	15.1
2.88	1.440	0.7200	0.288	451	226	150	75.1	37.6	18.8	15.0
2.89	1.445	0.7225	0.289	449	224	149	74.6	37.3	18.6	14.9
2.90	1.450	0.7250	0.290	444	223	148	74.1	37.0	18.5	14.8
2.91	1.455	0.7275	0.291	441	221	147	73.6	36.8	18.4	14.7
2.92	1.460	0.7300	0.292	438	219	146	73.0	36.5	18.3	14.6
2.93	1.465	0.7325	0.293	435	218	145	72.5	36.3	18.1	14.5
2.94	1.470	0.7350	0.294	432	216	144	72.0	36.0	18.0	14.4
2.95	1.475	0.7375	0.295	429	216	143	71.5	35.8	17.9	14.3
2.96	1.480	0.7400	0.296	426	213	142	71.0	35.5	17.8	14.2
2.97	1.485	0.7425	0.297	423	212	141	70.5	35.3	17.6	14.1
2.98	1.490	0.7450	0.298	420	210	140	70.1	35.0	17.5	14.0
2.99	1.495	0.7475	0.299	417	208	139	69.6	34.8	17.4	13.9
3.00	1.500	0.7500	0.300	415	207	138	69.1	34.6	17.3	13.8
3.01	1.505	0.7525	0.301	412	205	137	68.6	34.3	17.2	13.7
3.02	1.510	0.7550	0.302	409	205	136	68.2	34.1	17.0	13.6
3.03	1.515	0.7575	0.303	406	203	135	67.7	33.9	16.9	13.5
3.04	1.520	0.7600	0.304	404	202	135	67.3	33.6	16.8	13.5
3.05	1.525	0.7625	0.305	401	200	134	66.8	33.4	16.7	13.4
3.06	1.530	0.7650	0.306	398	199	133	66.4	33.2	16.6	13.3
3.07	1.535	0.7675	0.307	395	198	132	65.9	33.0	16.5	13.2
3.08	1.540	0.7700	0.308	393	196	131	65.5	32.7	16.4	13.1
3.09	1.545	0.7725	0.309	390	195	130	65.0	32.5	16.3	13.0
3.10	1.550	0.7750	0.310	388	194	129	64.6	32.3	16.2	12.9
3.11	1.555	0.7775	0.311	385	193	128	64.2	32.1	16.0	12.8
3.12	1.560	0.7800	0.312	383	191	128	63.8	31.9	15.9	12.8
3.13	1.565	0.7825	0.313	380	190	127	63.3	31.7	15.8	12.7
3.14	1.570	0.7850	0.314	378	189	126	62.9	31.5	15.7	12.6
3.15	1.575	0.7875	0.315	375	188	125	62.5	31.3	15.6	12.5
3.16	1.580	0.7900	0.316	373	186	124	62.1	31.1	15.5	12.4
3.17	1.585	0.7925	0.317	370	185	123	61.7	30.9	15.4	12.3
3.18	1.590	0.7950	0.318	368	184	123	61.3	30.7	15.3	12.3
3.19	1.595	0.7975	0.319	366	183	122	60.9	30.5	15.2	12.2
3.20	1.600	0.8000	0.320	363	182	121	60.5	30.3	15.1	12.1
3.21	1.605	0.8025	0.321	361	180	120	60.1	30.1	15.0	12.0
3.22	1.610	0.8050	0.322	359	179	120	59.8	29.9	14.9	12.0
3.23	1.615	0.8075	0.323	356	178	119	59.4	29.7	14.8	11.9
3.24	1.620	0.8100	0.324	354	177	118	59.0	29.5	14.8	11.8
3.25	1.625	0.8125	0.325	352	176	117	58.6	29.3	14.7	11.7
3.26	1.630	0.8150	0.326	350	175	117	58.3	29.1	14.6	11.7
3.27	1.635	0.8175	0.327	347	174	116	57.9	29.0	14.5	11.6
3.28	1.640	0.8200	0.328	345	173	115	57.5	28.8	14.4	11.5
3.29	1.645	0.8225	0.329	343	172	114	57.2	28.6	14.3	11.4
3.30	1.650	0.8250	0.330	341	170	114	56.8	28.4	14.2	11.4
3.31	1.655	0.8275	0.331	339	169	113	56.5	28.2	14.1	11.3
3.32	1.660	0.8300	0.332	337	168	112	56.1	28.1	14.0	11.2
3.33	1.665	0.8325	0.333	335	167	112	55.8	27.9	13.9	11.2
3.34	1.670	0.8350	0.334	333	166	111	55.4	27.7	13.9	11.1
3.35	1.675	0.8375	0.335	331	165	110	55.1	27.5	13.8	11.0
3.36	1.680	0.8400	0.336	329	164	110	54.8	27.4	13.7	11.0
3.37	1.685	0.8425	0.337	326	163	109	54.4	27.2	13.6	10.9
3.38	1.690	0.8450	0.338	325	162	108	54.1	27.0	13.5	10.8
3.39	1.695	0.8475	0.339	323	161	108	53.8	26.9	13.4	10.8
3.40	1.700	0.8500	0.340	321	160	107	53.4	26.7	13.4	10.7
3.41	1.705	0.8525	0.341	319	159	106	53.1	26.6	13.3	10.6

TABLE X1.1 Continued

Diameter of Indentation, $d$ (mm)				Brinell Hardness Number						
10 mm	5 mm	2.5 mm	1 mm	HBW 10/3000	HBW 10/1500	HBW 10/1000	HBW 10/500	HBW 10/250	HBW 10/125	HBW 10/100
				HBW 5/750		HBW 5/250	HBW 5/125	HBW 5/62.5	HBW 5/31.25	HBW 5/15.625
ball	ball	ball	ball	HBW 2.5/187.5		HBW 2.5/62.5	HBW 2.5/31.25	HBW 2.5/15.625	HBW 2.5/7.8125	HBW 2.5/6.25
				HBW 1/30		HBW 1/10	HBW 1/5	HBW 1/2	HBW 1/1.25	HBW 1/1
3.42	1.710	0.8550	0.342	317	158	106	52.8	26.4	13.2	10.6
3.43	1.715	0.8575	0.343	315	157	105	52.5	26.2	13.1	10.5
3.44	1.720	0.8600	0.344	313	156	104	52.2	26.1	13.0	10.4
3.45	1.725	0.8625	0.345	311	156	104	51.8	25.9	13.0	10.4
3.46	1.730	0.8650	0.346	309	155	103	51.5	25.8	12.9	10.3
3.47	1.735	0.8675	0.347	307	154	102	51.2	25.6	12.8	10.2
3.48	1.740	0.8700	0.348	306	153	102	50.9	25.5	12.7	10.2
3.49	1.745	0.8725	0.349	304	152	101	50.6	25.3	12.7	10.1
3.50	1.750	0.8750	0.350	302	151	101	50.3	25.2	12.6	10.1
3.51	1.755	0.8775	0.351	300	150	100	50.0	25.0	12.5	10.0
3.52	1.760	0.8800	0.352	298	149	99.5	49.7	24.9	12.4	9.95
3.53	1.765	0.8825	0.353	297	148	98.9	49.4	24.7	12.4	9.89
3.54	1.770	0.8850	0.354	295	147	98.3	49.2	24.6	12.3	9.83
3.55	1.775	0.8875	0.355	293	147	97.7	48.9	24.4	12.2	9.77
3.56	1.780	0.8900	0.356	292	146	97.2	48.6	24.3	12.1	9.72
3.57	1.785	0.8925	0.357	290	145	96.6	48.3	24.2	12.1	9.66
3.58	1.790	0.8950	0.358	288	144	96.1	48.0	24.0	12.0	9.61
3.59	1.795	0.8975	0.359	286	143	95.5	47.7	23.9	11.9	9.55
3.60	1.800	0.9000	0.360	285	142	95.0	47.5	23.7	11.9	9.50
3.61	1.805	0.9025	0.361	283	142	94.4	47.2	23.6	11.8	9.44
3.62	1.810	0.9050	0.362	282	141	93.9	46.9	23.5	11.7	9.39
3.63	1.815	0.9075	0.363	280	140	93.3	46.7	23.3	11.7	9.33
3.64	1.820	0.9100	0.364	278	139	92.8	46.4	23.2	11.6	9.28
3.65	1.825	0.9125	0.365	277	138	92.3	46.1	23.1	11.5	9.23
3.66	1.830	0.9150	0.366	275	138	91.8	45.9	22.9	11.5	9.18
3.67	1.835	0.9175	0.367	274	137	91.2	45.6	22.8	11.4	9.12
3.68	1.840	0.9200	0.368	272	136	90.7	45.4	22.7	11.3	9.07
3.69	1.845	0.9225	0.369	271	135	90.2	45.1	22.6	11.3	9.02
3.70	1.850	0.9250	0.370	269	135	89.7	44.9	22.4	11.2	8.97
3.71	1.855	0.9275	0.371	268	134	89.2	44.6	22.3	11.2	8.92
3.72	1.860	0.9300	0.372	266	133	88.7	44.4	22.2	11.1	8.87
3.73	1.865	0.9325	0.373	265	132	88.2	44.1	22.1	11.0	8.82
3.74	1.870	0.9350	0.374	263	132	87.7	43.9	21.9	11.0	8.77
3.75	1.875	0.9375	0.375	262	131	87.2	43.6	21.8	10.9	8.72
3.76	1.880	0.9400	0.376	260	130	86.8	43.4	21.7	10.8	8.68
3.77	1.885	0.9425	0.377	259	129	86.3	43.1	21.6	10.8	8.63
3.78	1.890	0.9450	0.378	257	129	85.8	42.9	21.5	10.7	8.58
3.79	1.895	0.9475	0.379	256	128	85.3	42.7	21.4	10.7	8.53
3.80	1.900	0.9500	0.380	255	127	84.9	42.4	21.2	10.6	8.49
3.81	1.905	0.9525	0.381	253	127	84.4	42.2	21.1	10.6	8.44
3.82	1.910	0.9550	0.382	252	126	83.9	42.0	21.0	10.5	8.39
3.83	1.915	0.9575	0.383	250	125	83.5	41.7	20.9	10.4	8.35
3.84	1.920	0.9600	0.384	249	125	83.0	41.5	20.8	10.4	8.30
3.85	1.925	0.9625	0.385	248	124	82.6	41.3	20.6	10.3	8.26
3.86	1.930	0.9650	0.386	246	123	82.1	41.1	20.5	10.3	8.21
3.87	1.935	0.9675	0.387	245	123	81.7	40.9	20.4	10.2	8.17
3.88	1.940	0.9700	0.388	244	122	81.3	40.6	20.3	10.2	8.13
3.89	1.945	0.9725	0.389	242	121	80.8	40.4	20.2	10.1	8.08
3.90	1.950	0.9750	0.390	241	121	80.4	40.2	20.1	10.0	8.04
3.91	1.955	0.9775	0.391	240	120	80.0	40.0	20.0	10.0	8.00
3.92	1.960	0.9800	0.392	239	119	79.5	39.8	19.9	9.94	7.95
3.93	1.965	0.9825	0.393	237	119	79.1	39.6	19.8	9.89	7.91
3.94	1.970	0.9850	0.394	236	118	78.7	39.4	19.7	9.84	7.87
3.95	1.975	0.9875	0.395	235	117	78.3	39.1	19.6	9.79	7.83
3.96	1.980	0.9900	0.396	234	117	77.9	38.9	19.5	9.73	7.79
3.97	1.985	0.9925	0.397	232	116	77.5	38.7	19.4	9.68	7.75
3.98	1.990	0.9950	0.398	231	116	77.1	38.5	19.3	9.63	7.71
3.99	1.995	0.9975	0.399	230	115	76.7	38.3	19.2	9.58	7.67
4.00	2.000	1.0000	0.400	229	114	76.3	38.1	19.1	9.53	7.63
4.01	2.005	1.0025	0.401	228	114	75.9	37.9	19.0	9.48	7.59
4.02	2.010	1.0050	0.402	226	113	75.5	37.7	18.9	9.43	7.55
4.03	2.015	1.0075	0.403	225	113	75.1	37.5	18.8	9.38	7.51
4.04	2.020	1.0100	0.404	224	112	74.7	37.3	18.7	9.34	7.47
4.05	2.025	1.0125	0.405	223	111	74.3	37.1	18.6	9.29	7.43
4.06	2.030	1.0150	0.406	222	111	73.9	37.0	18.5	9.24	7.39
4.07	2.035	1.0175	0.407	221	110	73.5	36.8	18.4	9.19	7.35
4.08	2.040	1.0200	0.408	219	110	73.2	36.6	18.3	9.14	7.32



TABLE X1.1 Continued

Diameter of Indentation, $a$ (mm)				Brinell Hardness Number						
10 mm	5 mm	2.5 mm	1 mm	HW 10/3000	HW 10/1500	HW 10/1000	HW 10/500	HW 10/250	HW 10/125	HW 10/100
ball	ball	ball	ball	HW 5/750		HW 5/250	HW 5/125	HW 5/62.5	HW 5/31.25	HW 5/25
				HW 2.5/187.5		HW 2.5/62.5	HW 2.5/31.25	HW 2.5/15.625	HW 2.5/7.8125	HW 2.5/6.25
				HW 1/30		HW 1/10	HW 1/5	HW 1/2	HW 1/1.25	HW 1/1
4.08	2.045	1.0225	0.409	218	109	72.8	36.4	18.2	9.10	7.28
4.10	2.050	1.0250	0.410	217	108	72.4	36.2	18.1	9.05	7.24
4.11	2.055	1.0275	0.411	216	108	72.0	36.0	18.0	9.01	7.20
4.12	2.060	1.0300	0.412	215	108	71.7	35.8	17.9	8.96	7.17
4.13	2.065	1.0325	0.413	214	107	71.3	35.7	17.8	8.91	7.13
4.14	2.070	1.0350	0.414	213	106	71.0	35.5	17.7	8.87	7.10
4.15	2.075	1.0375	0.415	212	106	70.6	35.3	17.6	8.82	7.05
4.16	2.080	1.0400	0.416	211	105	70.2	35.1	17.6	8.78	7.02
4.17	2.085	1.0425	0.417	210	105	69.9	34.9	17.5	8.74	6.99
4.18	2.090	1.0450	0.418	209	104	69.5	34.8	17.4	8.69	6.95
4.19	2.095	1.0475	0.419	208	104	69.2	34.6	17.3	8.65	6.92
4.20	2.100	1.0500	0.420	207	103	68.8	34.4	17.2	8.61	6.88
4.21	2.105	1.0525	0.421	206	103	68.5	34.2	17.1	8.56	6.85
4.22	2.110	1.0550	0.422	204	102	68.2	34.1	17.0	8.52	6.82
4.23	2.115	1.0575	0.423	203	102	67.8	33.9	17.0	8.48	6.78
4.24	2.120	1.0600	0.424	202	101	67.5	33.7	16.9	8.44	6.75
4.25	2.125	1.0625	0.425	201	101	67.1	33.6	16.8	8.39	6.71
4.26	2.130	1.0650	0.426	200	100	66.8	33.4	16.7	8.35	6.68
4.27	2.135	1.0675	0.427	199	100	66.5	33.2	16.6	8.31	6.65
4.28	2.140	1.0700	0.428	198	99.2	66.2	33.1	16.5	8.27	6.62
4.29	2.145	1.0725	0.429	198	99.8	66.8	32.9	16.5	8.23	6.58
4.30	2.150	1.0750	0.430	197	99.5	66.5	32.8	16.4	8.19	6.55
4.31	2.155	1.0775	0.431	196	97.8	66.2	32.6	16.3	8.15	6.52
4.32	2.160	1.0800	0.432	195	97.5	64.2	32.4	16.2	8.11	6.49
4.33	2.165	1.0825	0.433	194	96.8	64.8	32.3	16.1	8.07	6.46
4.34	2.170	1.0850	0.434	193	96.4	64.4	32.1	16.1	8.03	6.42
4.35	2.175	1.0875	0.435	192	95.9	63.8	32.0	16.0	7.99	6.39
4.36	2.180	1.0900	0.436	191	95.4	63.2	31.8	15.9	7.95	6.36
4.37	2.185	1.0925	0.437	190	95.0	63.3	31.7	15.8	7.92	6.33
4.38	2.190	1.0950	0.438	189	94.5	63.0	31.5	15.8	7.88	6.30
4.39	2.195	1.0975	0.439	188	94.1	62.7	31.4	15.7	7.84	6.27
4.40	2.200	1.1000	0.440	187	93.6	62.4	31.2	15.6	7.80	6.24
4.41	2.205	1.1025	0.441	186	93.2	62.1	31.1	15.5	7.76	6.21
4.42	2.210	1.1050	0.442	185	92.7	61.8	30.9	15.5	7.73	6.18
4.43	2.215	1.1075	0.443	185	92.3	61.5	30.8	15.4	7.69	6.15
4.44	2.220	1.1100	0.444	184	91.8	61.2	30.6	15.3	7.65	6.12
4.45	2.225	1.1125	0.445	183	91.4	60.8	30.5	15.2	7.62	6.09
4.46	2.230	1.1150	0.446	182	91.0	60.6	30.3	15.2	7.58	6.06
4.47	2.235	1.1175	0.447	181	90.5	60.4	30.2	15.1	7.55	6.04
4.48	2.240	1.1200	0.448	180	90.1	60.1	30.0	15.0	7.51	6.01
4.49	2.245	1.1225	0.449	178	89.7	59.8	29.9	14.9	7.47	5.98
4.50	2.250	1.1250	0.450	178	89.3	59.5	29.8	14.9	7.44	5.95
4.51	2.255	1.1275	0.451	178	88.9	59.2	29.6	14.8	7.40	5.92
4.52	2.260	1.1300	0.452	177	88.4	59.0	29.5	14.7	7.37	5.90
4.53	2.265	1.1325	0.453	176	88.0	58.7	29.3	14.7	7.34	5.87
4.54	2.270	1.1350	0.454	175	87.6	58.4	29.2	14.6	7.30	5.84
4.55	2.275	1.1375	0.455	174	87.2	58.1	29.1	14.5	7.27	5.81
4.56	2.280	1.1400	0.456	174	86.8	57.9	28.9	14.5	7.23	5.78
4.57	2.285	1.1425	0.457	173	86.4	57.6	28.8	14.4	7.20	5.75
4.58	2.290	1.1450	0.458	172	86.0	57.3	28.7	14.3	7.17	5.73
4.59	2.295	1.1475	0.459	171	85.6	57.1	28.5	14.3	7.13	5.71
4.60	2.300	1.1500	0.460	170	85.2	56.8	28.4	14.2	7.10	5.68
4.61	2.305	1.1525	0.461	170	84.8	56.5	28.3	14.1	7.07	5.65
4.62	2.310	1.1550	0.462	169	84.4	56.3	28.1	14.1	7.03	5.63
4.63	2.315	1.1575	0.463	168	84.0	56.0	28.0	14.0	7.00	5.60
4.64	2.320	1.1600	0.464	167	83.6	55.8	27.9	13.9	6.97	5.58
4.65	2.325	1.1625	0.465	167	83.3	55.5	27.8	13.9	6.94	5.55
4.66	2.330	1.1650	0.466	166	82.9	55.3	27.6	13.8	6.91	5.53
4.67	2.335	1.1675	0.467	165	82.5	55.0	27.5	13.8	6.88	5.50
4.68	2.340	1.1700	0.468	164	82.1	54.8	27.4	13.7	6.84	5.48
4.69	2.345	1.1725	0.469	164	81.8	54.5	27.3	13.6	6.81	5.45
4.70	2.350	1.1750	0.470	163	81.4	54.3	27.1	13.6	6.78	5.43
4.71	2.355	1.1775	0.471	162	81.0	54.0	27.0	13.5	6.75	5.40
4.72	2.360	1.1800	0.472	161	80.7	53.8	26.9	13.4	6.72	5.38
4.73	2.365	1.1825	0.473	161	80.3	53.5	26.8	13.4	6.69	5.35
4.74	2.370	1.1850	0.474	160	79.9	53.3	26.6	13.3	6.66	5.33
4.75	2.375	1.1875	0.475	159	79.6	53.0	26.5	13.3	6.63	5.30

TABLE X1.1 Continued

Diameter of Indentation, $d$ (mm)				Brinell Hardness Number						
10 mm	5 mm	2.5 mm	1 mm	HBW 10/3000	HBW 10/1500	HBW 10/1000	HBW 10/500	HBW 10/ 250	HBW 10/ 125	HBW 10/100
				HBW 5/750		HBW 5/250	HBW 5/125	HBW 5/62.5	HBW 5/31.25	HBW 5/25
ball	ball	ball	ball	HBW 2.5/187.5		HBW 2.5/62.5	HBW 2.5/31.25	HBW 2.5/ 15.625	HBW 2.5/ 7.8125	HBW 2.5/6.25
				HBW 1/30		HBW 1/10	HBW 1/5	HBW 1/2	HBW 1/1.25	HBW 1/1
4.76	2.380	1.1900	0.476	158	79.2	52.6	26.4	13.2	6.60	5.28
4.77	2.385	1.1925	0.477	158	78.9	52.6	26.3	13.1	6.57	5.26
4.78	2.390	1.1950	0.478	157	78.5	52.3	26.2	13.1	6.54	5.23
4.79	2.395	1.1975	0.479	156	78.2	52.1	26.1	13.0	6.51	5.21
4.80	2.400	1.2000	0.480	156	77.8	51.9	25.9	13.0	6.48	5.19
4.81	2.405	1.2025	0.481	155	77.5	51.6	25.8	12.9	6.46	5.16
4.82	2.410	1.2050	0.482	154	77.1	51.4	25.7	12.9	6.43	5.14
4.83	2.415	1.2075	0.483	154	76.8	51.2	25.6	12.8	6.40	5.12
4.84	2.420	1.2100	0.484	153	76.4	51.0	25.5	12.7	6.37	5.10
4.85	2.425	1.2125	0.485	152	76.1	50.7	25.4	12.7	6.34	5.07
4.86	2.430	1.2150	0.486	152	75.8	50.5	25.3	12.6	6.31	5.06
4.87	2.435	1.2175	0.487	151	75.4	50.3	25.1	12.6	6.29	5.03
4.88	2.440	1.2200	0.488	150	75.1	50.1	25.0	12.5	6.26	5.01
4.89	2.445	1.2225	0.489	150	74.8	49.8	24.9	12.5	6.23	4.98
4.90	2.450	1.2250	0.490	149	74.4	49.6	24.8	12.4	6.20	4.96
4.91	2.455	1.2275	0.491	148	74.1	49.4	24.7	12.4	6.18	4.94
4.92	2.460	1.2300	0.492	148	73.8	49.2	24.6	12.3	6.15	4.92
4.93	2.465	1.2325	0.493	147	73.5	49.0	24.5	12.2	6.12	4.90
4.94	2.470	1.2350	0.494	146	73.2	48.8	24.4	12.2	6.10	4.88
4.95	2.475	1.2375	0.495	146	72.8	48.6	24.3	12.1	6.07	4.86
4.96	2.480	1.2400	0.496	145	72.5	48.3	24.2	12.1	6.04	4.83
4.97	2.485	1.2425	0.497	144	72.2	48.1	24.1	12.0	6.02	4.81
4.98	2.490	1.2450	0.498	144	71.9	47.9	24.0	12.0	5.99	4.79
4.99	2.495	1.2475	0.499	143	71.6	47.7	23.9	11.9	5.97	4.77
5.00	2.500	1.2500	0.500	143	71.3	47.5	23.8	11.9	5.94	4.75
5.01	2.505	1.2525	0.501	142	71.0	47.3	23.7	11.8	5.91	4.73
5.02	2.510	1.2550	0.502	141	70.7	47.1	23.6	11.8	5.89	4.71
5.03	2.515	1.2575	0.503	141	70.4	46.9	23.5	11.7	5.86	4.69
5.04	2.520	1.2600	0.504	140	70.1	46.7	23.4	11.7	5.84	4.67
5.05	2.525	1.2625	0.505	140	69.8	46.5	23.3	11.6	5.81	4.65
5.06	2.530	1.2650	0.506	139	69.5	46.3	23.2	11.6	5.79	4.63
5.07	2.535	1.2675	0.507	138	69.2	46.1	23.1	11.5	5.76	4.61
5.08	2.540	1.2700	0.508	138	68.9	45.9	23.0	11.5	5.74	4.59
5.09	2.545	1.2725	0.509	137	68.6	45.7	22.9	11.4	5.72	4.57
5.10	2.550	1.2750	0.510	137	68.3	45.5	22.8	11.4	5.69	4.55
5.11	2.555	1.2775	0.511	136	68.0	45.3	22.7	11.3	5.67	4.53
5.12	2.560	1.2800	0.512	135	67.7	45.1	22.6	11.3	5.64	4.51
5.13	2.565	1.2825	0.513	135	67.4	45.0	22.5	11.2	5.62	4.50
5.14	2.570	1.2850	0.514	134	67.1	44.8	22.4	11.2	5.60	4.48
5.15	2.575	1.2875	0.515	134	66.8	44.6	22.3	11.1	5.57	4.46
5.16	2.580	1.2900	0.516	133	66.6	44.4	22.2	11.1	5.55	4.44
5.17	2.585	1.2925	0.517	133	66.3	44.2	22.1	11.1	5.53	4.42
5.18	2.590	1.2950	0.518	132	66.0	44.0	22.0	11.0	5.50	4.40
5.19	2.595	1.2975	0.519	132	65.8	43.8	21.9	11.0	5.48	4.38
5.20	2.600	1.3000	0.520	131	65.5	43.7	21.8	10.9	5.46	4.37
5.21	2.605	1.3025	0.521	130	65.2	43.5	21.7	10.9	5.43	4.35
5.22	2.610	1.3050	0.522	130	64.9	43.3	21.6	10.8	5.41	4.33
5.23	2.615	1.3075	0.523	129	64.7	43.1	21.6	10.8	5.39	4.31
5.24	2.620	1.3100	0.524	129	64.4	42.9	21.5	10.7	5.37	4.29
5.25	2.625	1.3125	0.525	128	64.1	42.8	21.4	10.7	5.34	4.28
5.26	2.630	1.3150	0.526	128	63.9	42.6	21.3	10.6	5.32	4.26
5.27	2.635	1.3175	0.527	127	63.6	42.4	21.2	10.6	5.30	4.24
5.28	2.640	1.3200	0.528	127	63.3	42.2	21.1	10.6	5.28	4.22
5.29	2.645	1.3225	0.529	126	63.1	42.1	21.0	10.5	5.26	4.21
5.30	2.650	1.3250	0.530	126	62.8	41.9	20.9	10.5	5.24	4.19
5.31	2.655	1.3275	0.531	125	62.6	41.7	20.9	10.4	5.21	4.17
5.32	2.660	1.3300	0.532	125	62.3	41.5	20.8	10.4	5.19	4.15
5.33	2.665	1.3325	0.533	124	62.1	41.4	20.7	10.3	5.17	4.14
5.34	2.670	1.3350	0.534	124	61.8	41.2	20.6	10.3	5.15	4.12
5.35	2.675	1.3375	0.535	123	61.5	41.0	20.5	10.3	5.13	4.10
5.36	2.680	1.3400	0.536	123	61.3	40.9	20.4	10.2	5.11	4.09
5.37	2.685	1.3425	0.537	122	61.0	40.7	20.3	10.2	5.09	4.07
5.38	2.690	1.3450	0.538	122	60.8	40.5	20.3	10.1	5.07	4.06
5.39	2.695	1.3475	0.539	121	60.6	40.4	20.2	10.1	5.05	4.04
5.40	2.700	1.3500	0.540	121	60.3	40.2	20.1	10.1	5.03	4.02
5.41	2.705	1.3525	0.541	120	60.1	40.0	20.0	10.0	5.01	4.00
5.42	2.710	1.3550	0.542	120	59.8	39.9	19.9	10.0	4.99	3.99

TABLE X1.1 Continued

Diameter of Indentation, $d$ (mm)				Brinell Hardness Number						
10 mm	5 mm	2.5 mm	1 mm	HBW 10/3000	HBW 10/1500	HBW 10/1000	HBW 10/500	HBW 10/250	HBW 10/125	HBW 10/100
				HBW 5/750		HBW 5/250	HBW 5/125	HBW 5/62.5	HBW 5/31.25	HBW 5/15.625
ball	ball	ball	ball	HBW 2.5/187.5		HBW 2.5/62.5	HBW 2.5/31.25	HBW 2.5/15.625	HBW 2.5/7.8125	HBW 2.5/6.25
				HBW 1/30		HBW 1/10	HBW 1/5	HBW 1/2	HBW 1/1.25	HBW 1/1
5.43	2.715	1.3575	0.543	119	59.6	39.7	19.9	9.93	4.97	3.97
5.44	2.720	1.3600	0.544	119	59.3	39.6	19.8	9.89	4.95	3.96
5.45	2.725	1.3625	0.545	118	59.1	39.4	19.7	9.85	4.93	3.94
5.46	2.730	1.3650	0.546	118	58.9	39.2	19.6	9.81	4.91	3.92
5.47	2.735	1.3675	0.547	117	58.6	39.1	19.5	9.77	4.89	3.91
5.48	2.740	1.3700	0.548	117	58.4	38.9	19.5	9.73	4.87	3.89
5.49	2.745	1.3725	0.549	116	58.2	38.8	19.4	9.69	4.85	3.88
5.50	2.750	1.3750	0.550	116	57.9	38.6	19.3	9.66	4.83	3.86
5.51	2.755	1.3775	0.551	115	57.7	38.5	19.2	9.62	4.81	3.85
5.52	2.760	1.3800	0.552	115	57.5	38.3	19.2	9.58	4.79	3.83
5.53	2.765	1.3825	0.553	114	57.2	38.2	19.1	9.54	4.77	3.82
5.54	2.770	1.3850	0.554	114	57.0	38.0	19.0	9.50	4.75	3.80
5.55	2.775	1.3875	0.555	114	56.8	37.9	18.9	9.47	4.73	3.79
5.56	2.780	1.3900	0.556	113	56.6	37.7	18.9	9.43	4.71	3.77
5.57	2.785	1.3925	0.557	113	56.3	37.6	18.8	9.39	4.70	3.76
5.58	2.790	1.3950	0.558	112	56.1	37.4	18.7	9.35	4.68	3.74
5.59	2.795	1.3975	0.559	112	55.9	37.3	18.6	9.32	4.66	3.73
5.60	2.800	1.4000	0.560	111	55.7	37.1	18.6	9.28	4.64	3.71
5.61	2.805	1.4025	0.561	111	55.5	37.0	18.5	9.24	4.62	3.70
5.62	2.810	1.4050	0.562	110	55.2	36.8	18.4	9.21	4.60	3.68
5.63	2.815	1.4075	0.563	110	55.0	36.7	18.3	9.17	4.58	3.67
5.64	2.820	1.4100	0.564	110	54.8	36.5	18.3	9.14	4.57	3.65
5.65	2.825	1.4125	0.565	109	54.6	36.4	18.2	9.10	4.55	3.64
5.66	2.830	1.4150	0.566	109	54.4	36.3	18.1	9.06	4.53	3.63
5.67	2.835	1.4175	0.567	108	54.2	36.1	18.1	9.03	4.51	3.61
5.68	2.840	1.4200	0.568	108	54.0	36.0	18.0	9.00	4.50	3.60
5.69	2.845	1.4225	0.569	107	53.7	35.8	17.9	8.96	4.48	3.58
5.70	2.850	1.4250	0.570	107	53.5	35.7	17.8	8.92	4.46	3.57
5.71	2.855	1.4275	0.571	107	53.3	35.6	17.8	8.89	4.44	3.55
5.72	2.860	1.4300	0.572	106	53.1	35.4	17.7	8.85	4.43	3.54
5.73	2.865	1.4325	0.573	106	52.9	35.3	17.6	8.82	4.41	3.53
5.74	2.870	1.4350	0.574	105	52.7	35.1	17.6	8.79	4.39	3.51
5.75	2.875	1.4375	0.575	105	52.5	35.0	17.5	8.75	4.38	3.50
5.76	2.880	1.4400	0.576	105	52.3	34.9	17.4	8.72	4.36	3.49
5.77	2.885	1.4425	0.577	104	52.1	34.7	17.4	8.68	4.34	3.47
5.78	2.890	1.4450	0.578	104	51.9	34.6	17.3	8.65	4.33	3.46
5.79	2.895	1.4475	0.579	103	51.7	34.5	17.2	8.62	4.31	3.45
5.80	2.900	1.4500	0.580	103	51.5	34.3	17.2	8.59	4.29	3.43
5.81	2.905	1.4525	0.581	103	51.3	34.2	17.1	8.55	4.28	3.42
5.82	2.910	1.4550	0.582	102	51.1	34.1	17.0	8.52	4.26	3.41
5.83	2.915	1.4575	0.583	102	50.9	33.9	17.0	8.49	4.24	3.39
5.84	2.920	1.4600	0.584	101	50.7	33.8	16.9	8.45	4.23	3.38
5.85	2.925	1.4625	0.585	101	50.5	33.7	16.8	8.42	4.21	3.37
5.86	2.930	1.4650	0.586	101	50.3	33.6	16.8	8.39	4.20	3.36
5.87	2.935	1.4675	0.587	100	50.2	33.4	16.7	8.36	4.18	3.34
5.88	2.940	1.4700	0.588	100	50.0	33.3	16.7	8.33	4.16	3.33
5.89	2.945	1.4725	0.589	100	49.8	33.2	16.6	8.30	4.15	3.32
5.90	2.950	1.4750	0.590	99.2	49.6	33.1	16.5	8.26	4.13	3.31
5.91	2.955	1.4775	0.591	98.6	49.4	32.9	16.5	8.23	4.12	3.29
5.92	2.960	1.4800	0.592	98.4	49.2	32.8	16.4	8.20	4.10	3.28
5.93	2.965	1.4825	0.593	98.0	49.0	32.7	16.3	8.17	4.09	3.27
5.94	2.970	1.4850	0.594	97.7	48.8	32.6	16.3	8.14	4.07	3.26
5.95	2.975	1.4875	0.595	97.3	48.7	32.4	16.2	8.11	4.05	3.24
5.96	2.980	1.4900	0.596	96.9	48.5	32.3	16.2	8.08	4.04	3.23
5.97	2.985	1.4925	0.597	96.6	48.3	32.2	16.1	8.05	4.02	3.22
5.98	2.990	1.4950	0.598	96.2	48.1	32.1	16.0	8.02	4.01	3.21
5.99	2.995	1.4975	0.599	95.9	47.9	32.0	16.0	7.99	3.99	3.20
6.00	3.000	1.5000	0.600	95.5	47.7	31.8	15.9	7.96	3.98	3.18
6.01	3.005	1.5025	0.601	95.1	47.6	31.7	15.9	7.93	3.96	3.17
6.02	3.010	1.5050	0.602	94.8	47.4	31.6	15.8	7.90	3.95	3.16
6.03	3.015	1.5075	0.603	94.4	47.2	31.5	15.7	7.87	3.93	3.15
6.04	3.020	1.5100	0.604	94.1	47.0	31.4	15.7	7.84	3.92	3.14
6.05	3.025	1.5125	0.605	93.7	46.9	31.2	15.6	7.81	3.91	3.12
6.06	3.030	1.5150	0.606	93.4	46.7	31.1	15.6	7.78	3.89	3.11
6.07	3.035	1.5175	0.607	93.0	46.5	31.0	15.5	7.75	3.88	3.10
6.08	3.040	1.5200	0.608	92.7	46.3	30.9	15.4	7.72	3.86	3.09
6.09	3.045	1.5225	0.609	92.3	46.2	30.8	15.4	7.69	3.85	3.08

TABLE X1.1 Continued

Diameter of Indentation, $d$ (mm)				Brinell Hardness Number						
				HBW 10/3000	HBW 10/1500	HBW 10/1000	HBW 10/500	HBW 10/250	HBW 10/125	HBW 10/100
10 mm	5 mm	2.5 mm	1 mm	HBW 5/750		HBW 5/250	HBW 5/125	HBW 5/62.5	HBW 5/31.25	HBW 5/25
ball	ball	ball	ball	HBW 2.5/187.5		HBW 2.5/62.5	HBW 2.5/31.25	HBW 2.5/15.625	HBW 2.5/7.8125	HBW 2.5/6.25
				HBW 1/30		HBW 1/10	HBW 1/5	HBW 1/2	HBW 1/1.25	HBW 1/1
6.10	3.050	1.5250	0.610	92.0	46.0	30.7	15.3	7.67	3.83	3.07
6.11	3.055	1.5275	0.611	91.7	45.8	30.6	15.3	7.64	3.82	3.06
6.12	3.060	1.5300	0.612	91.3	45.7	30.4	15.2	7.61	3.80	3.04
6.13	3.065	1.5325	0.613	91.0	45.5	30.3	15.2	7.58	3.79	3.03
6.14	3.070	1.5350	0.614	90.6	45.3	30.2	15.1	7.55	3.78	3.02
6.15	3.075	1.5375	0.615	90.3	45.2	30.1	15.1	7.53	3.76	3.01
6.16	3.080	1.5400	0.616	90.0	45.0	30.0	15.0	7.50	3.75	3.00
6.17	3.085	1.5425	0.617	89.6	44.8	29.9	14.9	7.47	3.74	2.99
6.18	3.090	1.5450	0.618	89.3	44.7	29.8	14.9	7.44	3.72	2.98
6.19	3.095	1.5475	0.619	89.0	44.5	29.7	14.8	7.42	3.71	2.97
6.20	3.100	1.5500	0.620	88.7	44.3	29.6	14.8	7.39	3.69	2.96
6.21	3.105	1.5525	0.621	88.3	44.2	29.4	14.7	7.36	3.68	2.94
6.22	3.110	1.5550	0.622	88.0	44.0	29.3	14.7	7.33	3.67	2.93
6.23	3.115	1.5575	0.623	87.7	43.8	29.2	14.6	7.31	3.65	2.92
6.24	3.120	1.5600	0.624	87.4	43.7	29.1	14.6	7.28	3.64	2.91
6.25	3.125	1.5625	0.625	87.1	43.5	29.0	14.5	7.25	3.63	2.90
6.26	3.130	1.5650	0.626	86.7	43.4	28.9	14.5	7.23	3.61	2.89
6.27	3.135	1.5675	0.627	86.4	43.2	28.8	14.4	7.20	3.60	2.88
6.28	3.140	1.5700	0.628	86.1	43.1	28.7	14.4	7.18	3.59	2.87
6.29	3.145	1.5725	0.629	85.8	42.9	28.6	14.3	7.15	3.57	2.86
6.30	3.150	1.5750	0.630	85.5	42.7	28.5	14.2	7.12	3.56	2.85
6.31	3.155	1.5775	0.631	85.2	42.6	28.4	14.2	7.10	3.55	2.84
6.32	3.160	1.5800	0.632	84.9	42.4	28.3	14.1	7.07	3.54	2.83
6.33	3.165	1.5825	0.633	84.6	42.3	28.2	14.1	7.05	3.52	2.82
6.34	3.170	1.5850	0.634	84.3	42.1	28.1	14.0	7.02	3.51	2.81
6.35	3.175	1.5875	0.635	84.0	42.0	28.0	14.0	7.00	3.50	2.80
6.36	3.180	1.5900	0.636	83.7	41.8	27.9	13.9	6.97	3.49	2.79
6.37	3.185	1.5925	0.637	83.4	41.7	27.8	13.9	6.95	3.47	2.78
6.38	3.190	1.5950	0.638	83.1	41.5	27.7	13.8	6.92	3.46	2.77
6.39	3.195	1.5975	0.639	82.8	41.4	27.6	13.8	6.90	3.45	2.76
6.40	3.200	1.6000	0.640	82.5	41.2	27.5	13.7	6.87	3.44	2.75
6.41	3.205	1.6025	0.641	82.2	41.1	27.4	13.7	6.85	3.42	2.74
6.42	3.210	1.6050	0.642	81.9	40.9	27.3	13.6	6.82	3.41	2.73
6.43	3.215	1.6075	0.643	81.6	40.8	27.2	13.6	6.80	3.40	2.72
6.44	3.220	1.6100	0.644	81.3	40.6	27.1	13.5	6.77	3.39	2.71
6.45	3.225	1.6125	0.645	81.0	40.5	27.0	13.5	6.75	3.37	2.70
6.46	3.230	1.6150	0.646	80.7	40.3	26.9	13.4	6.72	3.36	2.69
6.47	3.235	1.6175	0.647	80.4	40.2	26.8	13.4	6.70	3.35	2.68
6.48	3.240	1.6200	0.648	80.1	40.1	26.7	13.4	6.68	3.34	2.67
6.49	3.245	1.6225	0.649	79.8	39.9	26.6	13.3	6.65	3.33	2.66
6.50	3.250	1.6250	0.650	79.6	39.8	26.5	13.3	6.63	3.31	2.65
6.51	3.255	1.6275	0.651	79.3	39.6	26.4	13.2	6.61	3.30	2.64
6.52	3.260	1.6300	0.652	79.0	39.5	26.3	13.2	6.58	3.29	2.63
6.53	3.265	1.6325	0.653	78.7	39.4	26.2	13.1	6.56	3.28	2.62
6.54	3.270	1.6350	0.654	78.4	39.2	26.1	13.1	6.54	3.27	2.61
6.55	3.275	1.6375	0.655	78.2	39.1	26.1	13.0	6.51	3.26	2.61
6.56	3.280	1.6400	0.656	77.9	38.9	26.0	13.0	6.49	3.24	2.60
6.57	3.285	1.6425	0.657	77.6	38.8	25.9	12.9	6.47	3.23	2.59
6.58	3.290	1.6450	0.658	77.3	38.7	25.8	12.9	6.44	3.22	2.58
6.59	3.295	1.6475	0.659	77.1	38.5	25.7	12.8	6.42	3.21	2.57
6.60	3.300	1.6500	0.660	76.8	38.4	25.6	12.8	6.40	3.20	2.56
6.61	3.305	1.6525	0.661	76.5	38.3	25.5	12.8	6.38	3.19	2.55
6.62	3.310	1.6550	0.662	76.2	38.1	25.4	12.7	6.35	3.18	2.54
6.63	3.315	1.6575	0.663	76.0	38.0	25.3	12.7	6.33	3.17	2.53
6.64	3.320	1.6600	0.664	75.7	37.9	25.2	12.6	6.31	3.15	2.52
6.65	3.325	1.6625	0.665	75.4	37.7	25.1	12.6	6.29	3.14	2.51
6.66	3.330	1.6650	0.666	75.2	37.6	25.1	12.5	6.26	3.13	2.51
6.67	3.335	1.6675	0.667	74.9	37.5	25.0	12.5	6.24	3.12	2.50
6.68	3.340	1.6700	0.668	74.7	37.3	24.9	12.4	6.22	3.11	2.49
6.69	3.345	1.6725	0.669	74.4	37.2	24.8	12.4	6.20	3.10	2.48
6.70	3.350	1.6750	0.670	74.1	37.1	24.7	12.4	6.18	3.09	2.47
6.71	3.355	1.6775	0.671	73.9	36.9	24.6	12.3	6.16	3.08	2.46
6.72	3.360	1.6800	0.672	73.6	36.8	24.5	12.3	6.13	3.07	2.45
6.73	3.365	1.6825	0.673	73.4	36.7	24.5	12.2	6.11	3.06	2.45
6.74	3.370	1.6850	0.674	73.1	36.5	24.4	12.2	6.09	3.05	2.44
6.75	3.375	1.6875	0.675	72.8	36.4	24.3	12.1	6.07	3.04	2.43
6.76	3.380	1.6900	0.676	72.6	36.3	24.2	12.1	6.05	3.02	2.42

TABLE X1.1 Continued

Diameter of Indentation, $d$ (mm)				Brinell Hardness Number						
10 mm	5 mm	2.5 mm	1 mm	HBW 10/3000	HBW 10/1500	HBW 10/1000	HBW 10/500	HBW 10/250	HBW 10/125	HBW 10/100
ball	ball	ball	ball	HBW 5/750		HBW 5/250	HBW 5/125	HBW 5/62.5	HBW 5/31.25	HBW 5/25
				HBW 2.5/187.5		HBW 2.5/62.5	HBW 2.5/31.25	HBW 2.5/15.625	HBW 2.5/7.8125	HBW 2.5/6.25
				HBW 1/30		HBW 1/10	HBW 1/5	HBW 1/2	HBW 1/1.25	HBW 1/1
6.77	3.385	1.6925	0.677	72.3	36.2	24.1	12.1	6.03	3.01	2.41
6.78	3.390	1.6950	0.678	72.1	36.0	24.0	12.0	6.01	3.00	2.40
6.79	3.395	1.6975	0.679	71.8	35.9	23.9	12.0	5.99	2.99	2.39
6.80	3.400	1.7000	0.680	71.6	35.8	23.9	11.9	5.97	2.98	2.39
6.81	3.405	1.7025	0.681	71.3	35.7	23.8	11.9	5.94	2.97	2.38
6.82	3.410	1.7050	0.682	71.1	35.5	23.7	11.8	5.92	2.96	2.37
6.83	3.415	1.7075	0.683	70.8	35.4	23.6	11.8	5.90	2.95	2.36
6.84	3.420	1.7100	0.684	70.6	35.3	23.5	11.8	5.88	2.94	2.35
6.85	3.425	1.7125	0.685	70.4	35.2	23.5	11.7	5.86	2.93	2.35
6.86	3.430	1.7150	0.686	70.1	35.1	23.4	11.7	5.84	2.92	2.34
6.87	3.435	1.7175	0.687	69.9	34.9	23.3	11.6	5.82	2.91	2.33
6.88	3.440	1.7200	0.688	69.6	34.8	23.2	11.6	5.80	2.90	2.32
6.89	3.445	1.7225	0.689	69.4	34.7	23.1	11.6	5.78	2.89	2.31
6.90	3.450	1.7250	0.690	69.2	34.6	23.1	11.5	5.76	2.88	2.31
6.91	3.455	1.7275	0.691	68.9	34.5	23.0	11.5	5.74	2.87	2.30
6.92	3.460	1.7300	0.692	68.7	34.3	22.9	11.4	5.72	2.86	2.29
6.93	3.465	1.7325	0.693	68.4	34.2	22.8	11.4	5.70	2.85	2.28
6.94	3.470	1.7350	0.694	68.2	34.1	22.7	11.4	5.68	2.84	2.27
6.95	3.475	1.7375	0.695	68.0	34.0	22.7	11.3	5.66	2.83	2.27
6.96	3.480	1.7400	0.696	67.7	33.9	22.6	11.3	5.64	2.82	2.26
6.97	3.485	1.7425	0.697	67.5	33.8	22.5	11.3	5.63	2.81	2.25
6.98	3.490	1.7450	0.698	67.3	33.6	22.4	11.2	5.61	2.80	2.24
6.99	3.495	1.7475	0.699	67.0	33.5	22.3	11.2	5.59	2.79	2.23

## X2. 确定布氏硬度不确定度程序的示例

### X2.1 范围

X2.1.1 该附录的目的是提供一种评价布氏硬度测量值不确定度的方法，以简化及统一布氏硬度使用者对不确定度的解释。

X2.1.2 本附录提供对于确定以下硬度值不确定度的基本程序：

X2.1.2.1 硬度设备“误差”，其作为间接检定的一部分被确定（见 X2.6）——作为间接检定的一部分，若干布氏硬度测量在标准硬度块上进行。测量值的平均值与标准硬度块的认证值比较，以确定硬度设备的“误差”（见 3.2.4）。在 X2.6 节给出的程序提供了一种确定硬度设备测量“误差”的不确定度。该不确定度值可以在认证证书或报告上给出。

X2.1.2.2 由获得的测量值确定的硬度设备“误差”，其作为直接检定的一部分（见 X2.7）——作为直接检定的一部分，硬度设备单独部件的误差被确定。这些是试验力施加系统、压痕测量系统、以及压头。除此之外，还有其他潜在的误差来源也应被考虑。硬度设备的测量“误差”，可以通过确定这些单独部件的误差对总硬度测量误差的贡献来估计。尽管以该方法估计的硬度设备的测量“误差”不会在认证证书及报告上给出，当硬度设备的检定时使用直接检定方法时，该值及其不确定度需要用来计算测量不确定度。X2.7 节描述的程序提供了一种确定在硬度设备测量“误差”的方法。

X2.1.2.3 由使用者测量的布氏硬度值（见 X2.8）——该程序提供了一种确定硬度值不确定度的方法，这些硬度值由使用者在正常使用布氏硬度试验设备时获得。使用者可以将该不确定度值与测量值一起报告。

X2.1.2.4 布氏硬度试块的认证值（见 X2.9）——该程序提供了一种确定标准硬度试块认证值不确定度的程序。标准化机构可以在试块证书上报告该不确定度值。

注 X2.1——当计算时，由现场检定机构（见 X2.5.7 和 X2.7）给出的不确定度报告值不是使用中硬度设备的测量不确定度，仅是检定时用于确定设备“误差”的测量值的不确定度。

注 X2.2 本附录概括的程序用于确定不确定度，其主要是基于本实验方法作为检定及标准化程序一部分的测量值。通过这些来提供基于布氏硬度使用者及标准化机构的相似程序及规程的方法。读者应知悉存在其他可能用于确定相同不确定度的方法。

注 X2.3——本标准规定了布氏硬度设备允许可重复性及误差与标准化试块的不均匀性的容差或限值。这些限值最初是基于许多布氏硬度试验使用者的试验经验而建立的，因此反应了布氏硬度设备正确运行下的正常性能，包括与测量程序及设备性能有关的正常误差。因为该限值是基于试验经验，据信规定的限值体现了一定水平的不确定度，该不确定度对于有

效的布氏硬度测量是典型的。因此，在确定规定容差下依从性时，使用者测量值不确定度不应减去表中给出的容差限值，但对于其他类型的度量测量通常会减去。对于可重复性、误差及试块不均匀性的计算值应直接与表中给出的公差限值进行比较。

注X2.4——对于大多数产品规范的布氏硬度公差是基于试验及性能经验给出。公差限值反应了正确运行的布氏硬度设备的正常性能，包括和硬度测量过程相关的正常运行误差。对于这些产品，规定的容差限值考虑了一定水平的、对于有效布氏硬度测量典型的不确定度。因此，对大多数产品的布氏硬度接收试验，使用者测量不确定度不应减去本标准给出的公差限值。测量应硬度值应直接与公差范围相比较。但对于产品硬度值必须在确定范围内以更高水平的可信度时，可能存在例外情况。在这种极少数情况下，在硬度测量不确定度从公差限值中减去前，当事方应达成特别协议。在该协议达成前，推荐产品设计考虑材料的预期影响、对产品变化影响的冶金学因素以及典型的工业硬度不确定度值。

X2.1.3 本附录没有说明初始参考标准化水平的不确定度。

## X2.2 方程

X2.2.1 一组n个硬度测量值H<sub>1</sub>、H<sub>2</sub>、...、H<sub>n</sub>的平均值（AVG）， $\bar{H}$ 计算如下：

$$AVG(H_1, H_2, \dots, H_n) = \bar{H} = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_n}{n} \quad (X2.1)$$

X2.2.2 一组n个硬度测量值H<sub>1</sub>、H<sub>2</sub>、...、H<sub>n</sub>的标准差（STDEV）计算如下：

$$STDEV(H_1, H_2, \dots, H_n) = \sqrt{\frac{(H_1 - \bar{H})^2 + \dots + (H_n - \bar{H})^2}{n - 1}} \quad (X2.2)$$

其中：

$\bar{H}$  = 一组n个硬度测量值H<sub>1</sub>、H<sub>2</sub>、...、H<sub>n</sub>的平均值，在方程X2.1中定义。

X2.2.3 绝对值（ABS）是一个表示值大小（不考虑符号）的数字，例如：

$$ABS(0.12) = 0.12, \quad ABS(-0.12) = 0.12.$$

X2.2.4 硬度增量 $\Delta H$ 源自压痕直径 $\Delta d$ 的增量改变可以按下式计算：

$$\Delta H = -\Delta d \times \left( \frac{H \times (D + \sqrt{D^2 - d^2})}{d \times \sqrt{D^2 - d^2}} \right) \quad (X2.3)$$

其中：

H=在硬度增量 $\Delta H$ 改变前的布氏硬度值

d=在直径增量 $\Delta d$ 改变前的平均压痕直径，单位mm

D=压球直径，单位mm

X2.2.5 压痕直径增量 $\Delta d$ 源自硬度增量 $\Delta H$ 改变的计算如下:

$$\Delta d = -\Delta H \times \left( \frac{d \times \sqrt{D^2 - d^2}}{H \times (D + \sqrt{D^2 - d^2})} \right) \quad (\text{X2.4})$$

其中:

H=在硬度增量 $\Delta H$ 改变前的布氏硬度值

d=在直径增量 $\Delta d$ 改变前的平均压痕直径, 单位mm

D=压球直径, 单位mm

X2.2.6 硬度增量, 单位 $\Delta H$ 源自施加试验力增量 $\Delta F$ 改变的计算如下:

$$\Delta H = \Delta F \times \left( \frac{H}{F} \right) \quad (\text{X2.5})$$

其中:

H=在硬度增量 $\Delta H$ 改变前的布氏硬度值

F=在试验力增量 $\Delta F$ 改变前的试验力 (F及 $\Delta F$ 具有相同的单位)

X2.2.7 结合方程Eq X2.3及Eq X2.5, 压痕直径增量 $\Delta d$ 改变源自施加试验力增量 $\Delta F$ 改变可以按下式计算:

$$\Delta d = \frac{\Delta F}{F} \times \left( \frac{d \times \sqrt{D^2 - d^2}}{D + \sqrt{D^2 - d^2}} \right) \quad (\text{X2.6})$$

其中:

F=在试验力增量 $\Delta F$ 改变前的试验力 (F及 $\Delta F$ 具有相同的单位)

d=在直径增量 $\Delta d$ 改变前的平均压痕直径, 单位mm

D=压球直径, 单位mm

注X2.5——方程Eq X2.3、Eq X2.4及Eq X2.5仅用于很小值的 $\Delta H$ 及 $\Delta d$ 。这些方程适用于本附录中程序使用的典型 $\Delta H$ 及 $\Delta d$ 值; 然而, 当 $\Delta H$ 及 $\Delta d$ 值变大时, 这些方程会产生明显的误差。

## X2.3 一般要求

X2.3.1 本附录中主要方法仅考虑了布氏硬度设备中与相关参考标准有关的所有测量性能的不确定度。因为这种方法, 单个设备部件在公差范围内使用是非常重要的。强烈推荐本程序仅在成功通过直接检定后进行。

X2.3.2 为了估计布氏硬度测量值的总不确定度, 有贡献作用的部件的不确定度必须被确定。因为许多不确定度会根据特定的硬度标尺及硬度级别产生变化, 对于相关的每一硬度标尺及



硬度级别的单独测量不确定度均应被确定。在很多情况下，基于实验室对硬度设备操作的经验及知识，单个不确定度值可以用于一个硬度级别范围。

X2.3.3 不确定度应使用有关国家参考标准进行确定。

## X2.4 通用程序

X2.4.1 所有不确定度计算最初都基于以mm单位表示的压痕直径。这些以压痕直径表示的不确定度，也可以转换为用布氏硬度值表示的不确定度。

X2.4.2 本程序计算合成标准不确定度将有贡献部分的不确定度 $u_1$ 、 $u_2$ 、...、 $u_n$ 结合起来，如：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2} \quad (\text{X2.7})$$

X2.4.3 测量不确定度通常以扩展不确定度 $U$ 表示，通过对合成标准不确定度 $u_c$ 乘以一个数字包含因子得到，如：

$$U = k \times u_c \quad (\text{X2.8})$$

X2.4.4 包含因子根据标准不确定度在多大程度上进行估计（测量数 $n$ ）及需要的不确定度级别进行选择。对于本分析，包含因素 $k=2$ 应使用。这个包含因素提供了约95%的置信度。

X2.4.5 硬度设备的测量偏差 $B$ 是由硬度设备显示的期望硬度测量值与材料的“真实”硬度制品的差别。理想地，测量偏差应被修正。当试验系统没有根据测量偏差进行修正时，经常在布氏硬度试验中发生，偏差因此组成了测量的总不确定度。有很多可能的方法将偏差合并入不确定度计算中，但每种方法均有优点及缺点。一种简单且保守的方法是将偏差与扩展不确定度结合起来，计算如下：

$$U = ku_c + \text{ABS}(B) \quad (\text{X2.9})$$

其中：

$\text{ABS}(B)$  = 偏差的绝对值。

X2.4.6 因为几种方法均可用来评价并表达测量不确定度，报表示的不确定度值的简要说明应和报告的不确定度一起包括在报告中。

## X2.5 不确定度来源

X2.5.1 本节描述了布氏硬度测量中不确定度的最重要来源，并提供了计算硬度值总不确定度的程序及公式。在后面的章节，会示范在X2.1.2描述的三种测量环境下这些来源对总测量不确定度的贡献。

X2.5.2 将讨论的不确定度来源是：（1）硬度设备及测量系统缺乏重复性，（2）试验材料硬

度的不均匀，(3) 长期来看，硬度设备及测量系统缺乏再现性，(4) 硬度设备测量系统的精度，以及(5) 标准硬度块标准化认证值的不确定度。测量偏差的估计及其包含进扩展不确定度也将被讨论。

**X2.5.3 因为缺乏重复性 ( $u_{Repeat}$ ) 及其与不均匀性结合 ( $u_{Rep&NU}$ ) 的不确定度——缺乏重复性是布氏硬度设备及压痕测量系统在每次测量连续产生相同硬度值程度的指示。假设有一材料，其在整个表面上硬度值完全均匀。也假设硬度测量是在一段很短时间内进行的，没有改变试验条件（包括操作者）。尽管每一试验位置的硬度是完全一样的，但会发现，因为随机误差，每一测量个会与其他测量值不同（假设具有足够的精度）。因此，缺乏重复性导致硬度设备无法总是测量到侧聊的真实硬度，并组成了测量的不确定度。**

**X2.5.3.1 硬度设备及压痕测量系统缺乏重复性的贡献，导致总测量不确定度的确定会根据报告单个测量值或多个测量值的平均值而不同。此外，在报告平均测量值被用做估计试验材料平均硬度的情况下，设备缺乏重复性及试验材料不均匀的不确定度贡献是很难分开的，必须一起确定。对于这些情况的不确定度贡献可以按以下估计。**

**X2.5.3.2 单个硬度测量——对于将来的单个硬度测量，因为缺乏重复性产生的标准不确定度贡献  $u_{Repeat}$ ，可以使用由若干在均匀试样上得到的硬度测量值的标准差进行估计：**

$$u_{Repeat} = STDEV(d_1, d_2, \dots, d_n) \quad (X2.10)$$

其中：

$d_1, d_2, \dots, d_n = n$  个压痕的测量平均压痕直径 (mm)

注X2.6——通常，估计重复性随着硬度测量值数目的增加而提高。在间接检定中得到的硬度测量值（压痕直径）经常可以提供足够的估计值  $u_{Repeat}$ ；然而，在注X2.8中给出的警示应被考虑。使用者通过在均匀材料上紧密地（满足间距要求）进行硬度测量，如试块，来确定  $u_{Repeat}$  值更为合适。

注X2.7——不确定度  $u_{Repeat}$ ，如上讨论的由于硬度设备缺乏重复性而产生的，不应和之前的定义“重复性”混淆，后者是作为间接检定一部分需要满足的要求（见3.2.2）。计算不确定度  $u_{Repeat}$  及之前定义的重复性不会产生相同的值。不确定度  $u_{Repeat}$  是由于设备缺乏重复性对硬度测量总不确定度的贡献，而之前定义的重复性是间接检定中硬度测量值的范围。

注X2.8——所有材料试验表面上都会显示一定程度的硬度不均匀。因此，上述因缺乏重复性对不确定度的贡献评价也会包括由于测量材料硬度不均匀产生的一部分贡献。在如上述评价重复性时，所有由于硬度不均匀产生的不确定度贡献越小越好。若重复性测量基于在材

料横截表面的试验，实验室应注意，重复性值可能包括由于材料不均匀产生的不确定度贡献。设备的重复性可以紧密地（满足间距间隔情况下）进行硬度测量以更好地评价。

X2.5.3.3 多次测量的平均值——多次硬度测量平均值将被报告时，由于硬度设备缺乏重复性产生的标准不确定度贡献  $u_{Repeat}$ ，可以通过标准不确定度贡献  $u_{Repeat}$ （之前由在均匀试块上的一组压痕进行计算，见X2.5.3.2）除以进行计算平均值的硬度值数目的平方根获得：

$$u_{Repeat} = \frac{u_{Repeat}}{\sqrt{n_T}} \quad (X2.11)$$

其中：

$u_{Repeat}$  = 按Eq X2.10计算

$n_T$  = 计算平均值的单独实验值的数目

X2.5.3.4 材料硬度估计——通常在几个不同位置测量硬度，对得到的值进行平均计算以估计材料总体的平均硬度。例如，这可以是对很多类型产品制造进行质量控制测量时完成；在确定设备“误差”以作为间接检定一部分时；以及在校准试块时。因为所有材料在横截试验面上总存在一定程度的硬度不均匀，在估计材料的平均硬度时，材料不均匀的程度也对不确定度有一定贡献。若多次硬度测量值计算的平均值作为材料或产品平均硬度的估计值，将需要和该值一起注明与材料真实硬度有关的不确定度。在这种情况下，由于硬度设备及压痕测量系统缺乏重复性，以及因为试验材料不均匀产生的合成不确定度贡献，可以由硬度测量值的“平均值标准差”进行估计。这由硬度值的标准差除以测量数目的平方根得到：

$$u_{Rep\&NU} = \frac{STDEV(d_{T1}, d_{T2}, \dots, d_{Tn})}{\sqrt{n_T}} \quad (X2.12)$$

其中：

$d_{T1}, d_{T2}, \dots, d_{Tn}$  =  $n_T$ 个平均直径测量值

X2.5.4 由于缺乏再现性造成的不确定度 ( $u_{Reprod}$ ) ——缺乏再现性是硬度测量系统的性能逐日的变化。如不同的设备操作者和试验环境改变等变化经常会影响硬度设备的性能表现。再现性水平最好由在一段较长时间内对硬度设备性能进行监控确定，这段时间处于硬度设备经受试验变量发生剧烈变化的之间。在评估再现性期间，试验设备的受控是非常重要的。若设备处于需要维护或不正确操作下，缺乏再现性的程度将被过高估计。

X2.5.4.1 硬度设备缺乏再现性的评价应基于硬度设备周期的周期监控测量，如在相同试块上随时间的日常检定测量。不确定度贡献可以由每组监控值的平均值的标准差进行估计，如：

$$u_{Reprod} = STDEV(\overline{d_{M1}}, \overline{d_{M2}}, \dots, \overline{d_{Mn}}) \quad (X2.13)$$

其中:

$d_{M1}, d_{M2}, \dots, d_{Mn}$ =n组平均值, 该平均值是每天一组多个监控测量值的平均值

注X2.9——由于缺乏再现性造成的不确定度贡献, 如方程X2.13计算得到的, 也包括了由于设备缺乏重复性以及监控试块不均匀造成的一部分贡献; 然而, 这些贡献基于多次测量的平均值, 并且应该不对再现性不确定度产生明显的过高估计。

X2.5.4.2 由于压痕测量系统分辨率造成的不确定度 ( $u_{Resol}$ ) ——压痕直径测量系统的有限分辨率阻止了完全精确硬度值的确定。这种不确定度在使用一些手持测量显微镜可能会很大。

X2.5.4.3 由于压痕测量系统分辨率影响造成的不确定度贡献 $u_{Resol}$ , 可以用矩形分布描述, 并按以下估计:

$$u_{Resol} = \frac{r/2}{\sqrt{3}} = \frac{r}{\sqrt{12}} \quad (X2.14)$$

其中:

$r$  = 压痕直径在压痕测量系统中能被估计的分辨率, 单位mm

X2.5.5 标准试块认证值的标准不确定度 ( $u_{RefBlk}$ ) ——和有关试块一起的证书应为注明认证值提供一个不确定度。该不确定度对使用试块检定或认证的硬度设备的测量不确定度起了一定贡献。

X2.5.5.1 注意在标准试块证书上报告的不确定度通常规定为扩展不确定度。如方程2.9所示, 扩展不确定度由标准不确定度乘以一个包含因子 (通常为2) 获得。本分析使用标准不确定度, 而不是扩展不确定度值。因此, 标准试块认证平均压痕直径的不确定度通常可按下式计算:

$$u_{RefBlk(mm)} = \frac{U_{RefBlk(mm)}}{k_{RefBlk(mm)}} \quad (X2.15)$$

其中:

$U_{RefBlk(mm)}$ =标准试块在压痕直径 (mm) 上认证值的报告扩展不确定度

$k_{RefBlk(mm)}$ =用来计算参考标准的认证值的不确定度的包含因子 (通常为2)

X2.5.5.2 对于本分析, 标准试块注明认证值的不确定度必须是压痕直径 (mm) 方面的。在这种情况下, 标准试块证书仅提供和布氏硬度值有关的不确定度, 这个不确定度须有方程X2.4进行转换, 其中 $u_{RefBlk} (HBW)$  被替换为 $\Delta H$ 。 $\Delta d$ 计算值变为新的值 $u_{RefBlk} (mm)$ , 单位

是mm，见下式：

$$U_{RefBlk(mm)} = U_{RefBlk[HBW]} \times \left( \frac{d \times \sqrt{D^2 - d^2}}{H \times (D + \sqrt{D^2 - d^2})} \right) \quad (X2.16)$$

X2.5.6 测量偏差(B)——本试验方法的检定章节提供了两种允许的确定布氏硬度设备测量偏差的程序：(1) 通过使用标准试块的间接检定，(2) 通过直接检定设备的部件，包括施加力及压痕测量系统。测量偏差时材料的“真实”硬度与使用硬度设备测量的硬度测量值之间的差异。

X2.5.6.1 间接检定——在这种情况下，硬度设备通过间接检定进行认证，硬度设备的测量误差通过在参考标准上进行布氏硬度测量进行估计。测量偏差可以使用作为间接检定一部分的确定的“误差”进行估计，可以是压痕直径方面的，也可以是布氏硬度值方面的。

X2.5.6.2 测量偏差 $B_{(mm)}$ ，压痕直径方面的可以按下式计算：

$$B_{(mm)} = \bar{d} - \bar{d}_{RefBlk} \quad (X2.17)$$

其中：

$\bar{d}$  = 在直径检定期间测量的平均压痕直径

$\bar{d}_{RefBlk}$  = 在间接检定使用的标准硬度块的标准认证评价压痕直径

注X2.10——测量偏差 $B_{(mm)}$ 单位是长度单位mm。

X2.5.6.3 测量偏差 $B_{(HBW)}$ ，布氏硬度值方面的可以按下式计算：

$$B_{(HBW)} = \bar{H} - \bar{H}_{RefBlk} \quad (X2.18)$$

其中：

$\bar{H}$  = 在间接检定期间，由硬度设备测量的平均硬度值

$\bar{H}_{RefBlk}$  = 用做间接检定的参考试验硬度块标准的认证平均硬度值。测量偏差 $B_{(HBW)}$

也可以使用方程X2.3由 $B_{(mm)}$ 计算得到，其中 $\Delta d$ 由 $B_{(mm)}$ 代替。计算值 $\Delta H$ 随之变成新值 $B_{(HBW)}$ ：

$$B_{(HBW)} = B_{(mm)} \times \left( \frac{H \times (D + \sqrt{D^2 - d^2})}{d \times \sqrt{D^2 - d^2}} \right) \quad (X2.19)$$

注X2.11——测量偏差 $B_{(HBW)}$ 为布氏硬度单位(HBW)。

X2.5.6.4 直接检定——在硬度设备仅通过直接检定进行认证的情况下，硬度设备的测量误差通过设备部分的单独误差的总和进行估计。尽管布氏硬度设备误差由很多潜在的贡献来源，但典型的最重要误差来源是力值施加系统 $E_{Force}$ 及压痕测量系统 $E_{Indentation}$ 。其他来源可能包括有压球直径误差、注明保荷时间的误差、压入速率的误差等。推荐对所有误差来源进行

分析以确认这些误差的严重程度。简单起见，仅两个误差 $E_{Force}$ 及 $E_{Indentation}$ 将被考虑。

X2.5.6.5 这些误差来源按其测量单位进行计算，例如， $E_{Force}$ 及 $E_{Indentation}$ 是分别以长度(mm)及力值单位(kgf或N)进行确定。计算 $E_{Force}$ 及 $E_{Indentation}$ 的程序不在这里给出。为了计算测量偏差B，这些误差必须以压痕直径的方式来确定。压痕测量系统误差 $E_{Indentation}$ 总是正确的单位；但是误差 $E_{Force}$  (kgf 或 N) 必须用方程X2.6转换为压痕直径表示的误差，其中 $E_{Force}$  (kgf 或 N) 代替 $\Delta F$ 。计算值 $\Delta d$ 随之被替换为 $E_{Force}$  (mm)，单位为mm：

$$E_{Force(mm)} = -\frac{E_{Force(kgf \text{ or } N)}}{F} \times \left( \frac{d \times \sqrt{D^2 - d^2}}{D + \sqrt{D^2 - d^2}} \right) \quad (X2.20)$$

X2.5.6.6 测量偏差B可以通过结合作为直接检定一部分而确定的单个误差进行估计，但对于每一个误差应保持正确的符号（正或负）：

$$B_{(mm)} = E_{Indentation} + E_{Force(mm)} \quad (X2.21)$$

X2.5.7 为确定和布氏硬度单位 $B$  (HBW) 相关的测量“误差”或偏差，在压痕直径方面以方程X2.2计算，必须使用方程X2.19进行换算。

## X2.6 计算不确定的程序：由间接检定确定的测量误差

X2.6.1 作为间接检定的一部分，硬度设备的“误差”由在标准试块进行的测量平均值进行确定（见3.2.4）。该值提供了指示硬度设备能测量材料“真实”硬度的程度。因为在硬度测量中总是存在着不确定度，于是在测量平均值的确定中总存在不确定度，进而在设备“误差”的确定中也存在。本书提供了一种能使用的程序，例如由现场校准机构使用，来估计硬度设备测量“误差”的不确定度，以确定用来检定的标准块测量平均值与认证值之间的差别。

X2.6.2 所有不确定度计算首先都基于以mm为单位的压痕直径值。测量“误差”的标准不确定度” $u_{Mach}$  (mm) 贡献有，(1)  $u_{Rep\&NU}(Ref. Block)$ ，由于硬度设备缺乏重复性造成的不确定度与由于标准试块不均匀造成的不确定度（方程X2.12），其通过在标准试块上经常硬度测量以确定硬度设备的“误差”来确定，(2)  $u_{Resol}$ ，由于压痕测量系统的分辨率造成的不确定度（方程X2.14），以及(3)  $u_{RefBlk}$ ，以压痕直径表示的参考试块认证值的标准不确定度（方程X2.15及X2.16）。符号(Ref. Block)加入到名词 $u_{Rep\&NU}$ 后面，以表示该不确定度是由在用做间接检定的标准试块上的测量来确定的。

X2.6.3 合成标准不确定度 $u_{Mach}$  (mm) 及扩展不确定度 $U_{Mach}$  (mm) 通过结合上述适当的不确定度部分进行计算，这些部分对应每一布氏标尺的每一硬度级别，以mm为单位的压痕直径表示：

$$u_{Mach(mm)} = \sqrt{u_{Rep\&Nu}^2 (Ref. Block) + u_{Resol}^2 + u_{RefBlk}^2} \quad (X2.22)$$

及

$$U_{Mach(mm)} = k u_{Mach(mm)} \quad (X2.23)$$

X2.6.4 对于本分析，应使用包含因子 $k=2$ 。这个包含因子提供了约95%的置信度。

注X2.12——按方程X2.22计算的不确定度贡献 $u_{Mach}(mm)$ ，并不包括由于设备缺乏重复性造成的贡献。这是因为已经假定间接检定进行时，硬度设备在其最佳性能水平，并在最好可能环境条件下经常操作。

X2.6.5 为确定硬度设备测量“误差”以布氏硬度单位表示的不确定度 $U_{Mach}(HBW)$ ，那么按方程X2.23计算的以压痕直径表示的不确定度，必须使用方程X2.3进行转换，其中 $\Delta d$ 被 $U_{Mach}(mm)$ 代替。 $\Delta H$ 计算值随之变为以布氏硬度单位表示的新值 $U_{Mach}(HBW)$ ，如下：

$$U_{Mach(HBW)} = U_{Mach(mm)} \times \left( \frac{H \times (D + \sqrt{D^2 - d^2})}{d \times \sqrt{D^2 - d^2}} \right) \quad (X2.24)$$

注X2.13——使用方程X2.24时，方程X2.3中的第一个负号被删除，因为不确定度值永远是正值。

注X2.14——扩展不确定度 $U_{Mach}$ ，通常回避硬度设备“误差”（偏差）的值要大。

X2.6.6 报告测量不确定度——扩展不确定度 $U_{Mach}$ 可以由检定机构向其顾客进行报告，以指示作为布氏硬度设备间接检定一部分报告的硬度设备“误差”的不确定度。值 $U_{Mach}$ 应附加有该不确定度适用于何种布氏标尺及硬度级别的规定，包含解释性说明如：“报告的硬度设备“误差”的扩展不确定度作为规定布氏标尺及硬度级别的间接检定的一部分，按ASTM E10附录X1进行计算，包含因子为2，代表的置信度约为95%。”

X2.6.7 在确定硬度设备未来测量的测量不确定度时，标准不确定度值 $u_{Mach}(mm)$ 可以用来作为不确定度贡献（见X2.8及X2.9）。

X2.6.8 示例——作为布氏硬度设备间接检定的一部分，检定机构可能需要报告硬度设备“误差”的不确定度估计值。对于该示例，仅会在HBW10/3000布氏硬度标尺的中间硬度范围内进行测量评价。压痕测量设备是便携手持显微镜，分辨率为0.05mm。机构在HBW 10/3000硬度块上进行了三次检定测量，报告的认证评价压痕直径为4.24mm，其扩展不确定度 $u_{RefBlk}(mm)$ 为 $\pm 0.04mm$ 。硬度块证书也注明认证的平均布氏硬度值为 202 HBW 10/3000，其扩展不确定度为 $U_{RefBlk}(HBW) = \pm 4HBW 10/3000$ 。三次检定测量值结果为：

压痕直径长度（平均值）：4.25、4.25及4.30mm

平均压痕直径: 4.267mm

压痕直径误差 (偏差) 值: 0.027mm

计算平均硬度值: 199.8 HBW 10/3000

硬度误差 (偏差) 值: -2.3 HBW 10/3000

因此:

$$u_{Rep\&NU}^{(Ref. Block)} = \frac{STDEV(4.25, 4.25, 4.30)}{\sqrt{3}} \quad [Eq X2.12], \text{ or}$$

$$u_{Rep\&NU}^{(Ref. Block)} = 0.0167 \text{ mm}$$

$$u_{Resol} = \frac{0.05}{\sqrt{12}} = 0.0144 \text{ mm} \quad [Eq X2.14], \text{ and}$$

$$u_{RefBlk} = \frac{0.04}{2} = 0.02 \text{ mm} \quad [Eq X2.15]$$

进而:

$$u_{Mach(mm)} = \sqrt{0.0167^2 + 0.0144^2 + 0.02^2} = 0.0298 \text{ mm} \quad [Eq X2.22],$$

$$U_{Mach(mm)} = (2 \times 0.0298) = 0.0596 \text{ mm} \quad [Eq X2.23]$$

所以, 硬度设备中0.027mm“误差”的不确定度为0.060mm。

以布氏硬度单位表示:

$$U_{Mach(HBW)} = 0.0596 \times \left( \frac{199.8 \times (10 + \sqrt{10^2 - 4.267^2})}{4.267 \times \sqrt{10^2 - 4.267^2}} \right) \quad [Eq X2.24],$$

$$U_{Mach(HBW)} = 5.9 \text{ HBW } 10/3000$$

因此, 硬度设备中-2.3HBW10/3000“误差”的不确定度为5.9HBW 10/3000。尽管该评

价在硬度约为200HBW 10/3000的材料上进行, 不确定度可被认为用于HBW 10/3000标尺的整个中间范围。对于认证的HBW10/3000标尺的低硬度范围及高硬度范围、以及其他布氏标尺的这个范围, 这种计算必须进行。

## X2.7 计算不确定度的程序: 通过间接检定确定的测量误差

X2.7.1 作为间接检定的一部分, 硬度设备单独部分的误差被确认。硬度设备测量“误差”的不确定度通过组合每个设备部分的独立检定测量值的不确定度进行估计。

X2.7.2 对于布氏硬度设备及压痕测量系统的每一误差来源, 误差值及其不确定度必须被确定。一些误差值及不确定度不是以压痕直径来确定的。为估计硬度设备测量“误差”的不确定度 $U_{Mach}$ , 硬度设备相关的每一用压痕直径表示的误差的作用必须被确定。

X2.7.3 在X2.5.6.4节已经完成了的, 为简单起见, 仅考虑力值施加系统误差的不确定度 $u_{Force}$



以及压痕测量系统误差的不确定度  $u_{\text{Indentation}}$ 。误差  $E_{\text{Force}}$  及  $E_{\text{Indentation}}$  的计算程序在这里不给出。不确定度  $u_{\text{Force}}$  通常以力值单位 (kgf 或 N) 来表示, 而不是以压痕直径 (mm) 表示。压痕测量系统误差的不确定度  $u_{\text{Indentation}}$  总是有正确的单位; 然而, 力值误差的不确定度  $u_{\text{Force}}$  (kgf 或 N) 必须使用方程 X2.6 转换为以压痕直径表示的不确定度  $u_{\text{Force}}(\text{mm})$ , 其中  $\Delta$  被  $u_{\text{Force}}(\text{kgf 或 N})$  代替。计算值  $\Delta d$  随之变为以压痕直径表示的新值  $u_{\text{Force}}(\text{mm})$  :

$$u_{\text{Force}(\text{mm})} = \frac{u_{\text{Force}(\text{kgf or N})}}{F} \times \left( \frac{d \times \sqrt{D^2 - d^2}}{D + \sqrt{D^2 - d^2}} \right) \quad (\text{X2.25})$$

X2.7.4 合成标准不确定度  $u_{\text{Mach}}$  及扩展不确定度  $U_{\text{Mach}}$  通过结合上述适当的不确定度部分进行计算, 这些部分对应每一布氏标尺的每一硬度级别以及  $u_{\text{Resol}}$ , 其中  $u_{\text{Resol}}$  是由于压痕测量系统分辨率造成的不确定度 (方程 X2.14)。

$$u_{\text{Mach}(\text{mm})} = \sqrt{u_{\text{Indentation}}^2 + u_{\text{Force}(\text{mm})}^2 + u_{\text{Resol}}^2} \quad (\text{X2.26})$$

$$U_{\text{Mach}(\text{mm})} = k u_{\text{Mach}(\text{mm})} \quad (\text{X2.27})$$

X2.7.5 为确定硬度设备测量“误差”以布氏硬度单位表示的不确定度  $U_{\text{Mach}}(\text{HBW})$ , 那么如方程 X2.27 以压痕直径表示计算的不确定度必须按 X2.6.5 进行转换。

X2.7.6 尽管以这种方法确定的标准不确定度  $u_{\text{Mach}}$ , 通常不会被检定机构报告给其顾客, 但在确定使用硬度设备进行未来测量的测量不确定度时, 这可以用做不确定度贡献 (见 X2.8 及 X2.9)。

X2.7.7 示例——在布氏硬度设备通过直接检定来确认的情况下, 检定机构不需要报告硬度设备“误差”的不确定度估计值; 然而, 不确定度估计值可以由直接检定测量来确认。对于这个例子, 评价仅会在 HBW 10/3000 标尺的中间硬度范围进行, 硬度值是 200 HBW 10/3000 (4.265 mm) 压痕直径。压痕测量装置是便手持显微镜, 分辨率为 0.05 mm。机构在 3000 kgf 试验力及该压痕测量装置下进行直接检定。检定测量的结果如下:

试验力误差 (偏差) 值,  $E_{\text{Force}}(\text{kgf or N})$ : -15 kgf

试验力误差不确定度,  $u_{\text{Force}}(\text{kgf or N})$ : 2.5 kgf

压痕测量系统误差,  $E_{\text{Indentation}}(\text{mm})$ : 0 mm

测量系统误差不确定度,  $u_{\text{Indentation}}(\text{mm})$ : 0.002 mm (镜台测微计不确定度)

因此, 对于 200 HBW 10/3000 的硬度级别, 计算以压痕直径表示的设备偏差如下:

$$E_{\text{Indentation}} = 0 \text{ mm},$$

$$E_{\text{Force}(mm)} = -\frac{15}{3000} \times \left( \frac{4.265 \times \sqrt{10^2 - 4.265^2}}{10 + \sqrt{10^2 - 4.265^2}} \right) \text{ [Eq X2.20]},$$

$$E_{\text{Force}(mm)} = 0.0101 \text{ mm}$$

所以:

$$B_{(mm)} = E_{\text{Indentation}} + E_{\text{Force}(mm)} = 0 + 0.0101 = 0.0101 \text{ mm [Eq X2.21]}$$

为计算设备“误差”或偏差的不确定度:

$$u_{\text{Indentation}} = 0.002 \text{ mm, and}$$

$$u_{\text{Force}(mm)} = \frac{2.5}{3000} \times \left( \frac{4.265 \times \sqrt{10^2 - 4.265^2}}{10 + \sqrt{10^2 - 4.265^2}} \right) \text{ [Eq X2.25], or}$$

$$u_{\text{Force}(mm)} = 0.0017 \text{ mm, and}$$

$$u_{\text{Resol}} = \frac{0.05}{\sqrt{12}} = 0.0144 \text{ mm [Eq X2.14]}$$

所以:

$$u_{\text{Mach}(mm)} = \sqrt{0.002^2 + 0.0017^2 + 0.0144^2} = 0.01464 \text{ mm [Eq X2.26]},$$

$$U_{\text{Mach}(mm)} = (2 \times 0.01464) = 0.0293 \text{ mm [Eq X2.27]}$$

因此, 硬度设备在200HBW 10/3000硬度下的0.0101mm“误差”的不确定度为0.0293mm。

以布氏硬度单位表示:

$$B_{(HBW)} = (0.0101) \times \left( \frac{200 \times (10 + \sqrt{10^2 - 4.265^2})}{4.265 \times \sqrt{10^2 - 4.265^2}} \right) \text{ [Eq X2.19]},$$

$$B_{(HBW)} = -0.997 \text{ HBW } 10/3000, \text{ and}$$

$$U_{\text{Mach}(HBW)} = 0.0293 \times \left( \frac{200 \times (10 + \sqrt{10^2 - 4.265^2})}{4.265 \times \sqrt{10^2 - 4.265^2}} \right) \text{ [Eq X2.24]},$$

$$U_{\text{Mach}(HBW)} = 2.89 \text{ HBW } 10/3000$$

因此, 硬度设备的-0.997HBW10/3000“误差”的不确定度为2.89 HBW10/3000。尽管该

评价是在硬度值为200HBW 10/3000的材料上进行的, 该不确定度可以考虑用于整个

HBW10/3000标尺的中硬度范围。对于认证的HBW10/3000标尺的低硬度范围与高硬度范围,

以及其他布氏标尺的该硬度范围, 本计算必须进行。

## X2.8 计算不确定度的程序: 布氏硬度测量值

X2.8.1 由使用者测量的测量值的不确定度 $U_{\text{Meas}}$ 被认为是试验材料测量值与“真实”值相同

程度的表示。对于这一程序, 所有的不确定度计算最初都基于以mm为单位的压痕直径。合

成标准不确定度 $u_{\text{Meas}}(mm)$ 及扩展不确定度 $U_{\text{Meas}}(mm)$ , 均是以压痕直径表示的。不确定

度 $U_{\text{Meas}}(mm)$ 可以转换为以布氏硬度值表示的扩展不确定度 $U_{\text{Meas}}(HBW)$ 。

X2.8.2 单个测量值——当对于单个硬度测量值的测量不确定度需要确定是, 贡献标准不确

定度 $u_{\text{Meas}}(mm)$ 的是(1)  $u_{\text{Repeat}}$ , 由于设备缺乏重复性造成的不确定度(方程X2.10), (2)

$u_{Reprod}$ , 由于缺乏再现性造成的不确定度贡献 (方程X2.13), (3)  $u_{Resol}$ , 由于压痕测量系统分辨率造成的不确定度 (方程X2.14), 以及 (4)  $u_{Mach}$ , 确定硬度设备“误差”的不确定度 (方程X2.22或方程X2.23)。合成标准不确定度 $u_{Meas}$ 由组合以上描述的对应使用硬度级别及布氏标尺的适当不确定度部分进行计算:

$$u_{Meas(mm)} = \sqrt{u_{Repeat}^2 + u_{Reprod}^2 + u_{Resol}^2 + u_{Mach(mm)}^2} \quad (X2.28)$$

X2.8.3 平均测量值——在测量不确定度是由多次硬度测量的平均值来进行确定时, 在单个试样或多个试样上进行, 标准不确定度 $u_{Meas} (mm)$ 的贡献为 (1)  $u_{Repeat}$ , 基于多次测量平均值, 设备缺乏重复性造成的不确定度 (方程X2.11), (2)  $u_{Reprod}$ , 由于缺乏再现性造成的不确定度贡献 (方程X2.13), (3)  $u_{Resol}$ , 由于压痕测量系统分辨率造成的不确定度 (方程X2.14), 以及 (4)  $u_{Mach}$ , 确定硬度设备“误差”的不确定度 (方程X2.22或方程X2.23)。合成标准不确定度 $u_{Meas}$ 由组合以上描述的对应使用硬度级别及布氏标尺的适当不确定度部分进行计算:

$$u_{Meas(mm)} = \sqrt{u_{Repeat}^2 + u_{Reprod}^2 + u_{Resol}^2 + u_{Mach(mm)}^2} \quad (X2.29)$$

X2.8.4 上述讨论的关于单个或多个测量值的测量不确定度仅代表测量过程的不确定度, 且独立于试验材料不均匀之外。

X2.8.5 作为平均材料硬度估计的平均测量值——测量实验室及制造厂经常测量试样或产品的布氏硬度值, 是为了估计材料平均硬度。通常, 在试样表面进行多次硬度测量, 随后硬度值的平均值被报告以作为材料平均硬度的估计。若需要报告不确定度, 以表示平均测量值能代表材料真实平均硬度的程度, 那么标准不确定度的贡献 $u_{Meas} (mm)$ 是 (1)

$u_{Rep\&NU(Material)}$ , 由设备缺乏重复性造成的不确定度结合由于材料不均匀造成的不确定度 (方程X2.12), 从在试验材料的硬度测量上确定, (2)  $u_{Reprod}$ , 由于缺乏再现性造成的不确定度贡献 (方程X2.13), (3)  $u_{Resol}$ , 由于压痕测量系统分辨率造成的不确定度 (方程X2.14), 以及 (4)  $u_{Mach} (mm)$ , 确定硬度设备“误差”的不确定度 (方程X2.22或方程X2.23)。加在名词 $u_{Rep\&NU}$ 之后的注释 (*Material*) 是表面该不确定度由在试验材料的测量值确定。合成标准不确定度 $u_{Meas} (mm)$ 由组合以上描述的对应使用硬度级别及布氏标尺的适当不确定度部分进行计算:

$$u_{Meas(mm)} = \sqrt{u_{Rep\&NU(Material)}^2 + u_{Reprod}^2 + u_{Resol}^2 + u_{Mach(mm)}^2} \quad (X2.30)$$

X2.8.6 当报告不确定度以表示平均测量值代表材料真实平均硬度的程度, 保证在合适试验

位置进行足够试验的测量是非常重要的，提供材料硬度上任何变化的适当取样。

X2.8.7 上述讨论的三种情况的扩展不确定度按以下计算：

$$U_{Meas(mm)} = ku_{Meas(mm)} + ABS(B_{(mm)}) \quad (X2.31)$$

X2.8.8 为确定以布氏硬度单位表示的布氏硬度测量值的不确定度  $U_{Mach} (HBW)$ ，那么按方程X2.31计算的以压痕直径表示的不确定度，必须使用方程X2.3进行转换，其中  $\Delta d$  被  $U_{Meas} (mm)$  代替。计算值  $\Delta H$  变为以布氏硬度单位表示的新值  $U_{Mach} (HBW)$ ：

$$U_{Meas(HBW)} = U_{Meas(mm)} \times \left( \frac{H \times (D + \sqrt{D^2 - d^2})}{d \times \sqrt{D^2 - d^2}} \right) \quad (X2.32)$$

注X2.15——当使用方程X2.32时，在方程X2.3中的第一个负号被删除，因为不确定度值永远是正值。

X2.8.9 对于本分析，使用包含因子  $k=2$ 。这个包含因子提供了约95%的置信度。

X2.8.10 报告测量不确定度

X2.8.10.1 单个及平均测量值——当报告测量值是对单个硬度试验或多个硬度试验的平均值，那么  $U_{Meas}$  应附加有解释性说明，如：“报告硬度值（包平均硬度值）的扩展测量不确定度按照ASTM E10的附录X1进行计算，包含因子为2，提供的置信度约为95%。”

X2.8.10.2 作为估计平均材料硬度的平均测量值——需要报告不确定度以表示平均测量值代表材料真实平均硬度的程度时，那么  $U_{Meas}$  应附加有解释性说明，如：“报告材料平均硬度值的扩展测量不确定度基于来自测量过程及材料不均匀的不确定度贡献。不确定度按照ASTM E10的附录X1进行计算，包含因子为2，提供的置信度约为95%。”若试验报告并未注明用来平均计算的测量值数日以及测量的位置，那么这些信息应也包括在不确定度怎样计算的检验说明中。

X2.8.10.3 示例——对于本示例，一个企业通过进行布氏硬度测试来试验其产品，在产品表面上进行并使用分辨率为0.05mm的便携手持显微镜。平均压痕直径的测量值为4.20mm或布氏硬度值为103HBW10/1500。试验机构将对确定该单个一个读值的测量不确定度。104HBW 10/1500的硬度位于HBW10/1500标尺的中间范围。

对于本示例，假设HBW 10/1500标尺的中间范围的最后一次检定报告为：

$u_{Repeat}$ : 0.032 mm

$u_{Mach(mm)}$ : 0.054 mm

Bias,  $B_{(mm)}$ : -0.029 mm

对于本示例，假设硬度设备应进行一段较长时间的监控，并按照方程X2.13，确定如下：

$$u_{Reprod} = 0.040 \text{ mm}$$

其他不确定度贡献计算如下：

$$u_{Resol} = \frac{0.05}{\sqrt{12}} = 0.0144 \text{ mm [Eq X2.14]}$$

因此：

$$u_{Meas(mm)} = \sqrt{0.032^2 + 0.040^2 + 0.0144^2 + 0.054^2} \text{ [Eq X2.30]},$$

$$u_{Meas(mm)} = 0.0758 \text{ mm}$$

又因为  $B = -0.029 \text{ mm}$ ,

$$U_{Meas(mm)} = (2 \times 0.0758) + ABS(-0.029) \text{ [Eq X2.31]},$$

$$U_{Meas(mm)} = 0.1806 \text{ mm}$$

以布氏硬度单位表示为：

$$U_{Meas(HBW)} = 0.1806 \times \left( \frac{103 \times (10 + \sqrt{10^2 - 4.20^2})}{4.20 \times \sqrt{10^2 - 4.20^2}} \right) \text{ [Eq X2.32]},$$

$$U_{Meas(HBW)} = 9.3 \text{ HBW } 10/1500$$

对于在单个产品上进行的单个硬度测量值。

## X2.9 计算不确定度的程序：标准试块的认证值

X2.9.1 从事校准标准试块的标准化实验室必须确定试块的报告认证评价硬度值的不确定度。

该不确定度提供了试块认证值符合“真实”评价硬度程度的指示。

X2.9.2 试块被认证具有的平均硬度值，是基于在试块横截表面上进行的校准测量。本分析本质上和X2.8.5给出的关于测量产品平均硬度的分析是一样的。则这种情况下，产品是校准的标准试块。

X2.9.3 对于本程序，所有不确定度计算最初都基于以mm为单位的压痕直径。合成标准不确定度  $u_{Cert}(mm)$  及扩展不确定度  $U_{Cert}(mm)$ ，均是以压痕直径表示的。不确定度  $U_{Cert}(mm)$  能够转换为以布氏硬度值表示的扩展不确定度  $U_{Cert}(HBW)$ 。

X2.9.4 试块认证平均值的标准不确定度  $u_{Cert}(mm)$  贡献为 (1)  $u_{Rep\&NU}(Calib. Block)$ ，由标准化设备缺乏重复性造成的不确定度结合由于校准试块造成的不确定度（方程X2.12），从在试块的硬度校准测量上确定，(2)  $u_{Reprod}$ ，由于缺乏再现性造成的不确定度贡献（方程X2.13），(3)  $u_{Resol}$ ，由于压痕测量系统分辨率造成的不确定度（方程X2.14），以及 (4)  $u_{Mach}(mm)$ ，确定标准化设备“误差”的不确定度（方程X2.22或方程X2.23）。加在名词  $u_{Rep\&NU}$  之后的注释（*Calib. Block*）是表明该不确定度由在校准试块的校准测量值确定。

X2.9.5 合成标准不确定度  $u_{Cert}(mm)$  以及扩展不确定度  $U_{Cert}(mm)$  由组合以上描述的对应使用硬度级别及布氏标尺的适当不确定度部分进行计算：

$$u_{Cert(mm)} = \sqrt{u_{Rep\&NU}^2(Calib. Block) + u_{Reprod}^2 + u_{Resol}^2 + u_{Mach(mm)}^2} \quad (X2.33)$$

以及

$$U_{Cert} = k u_{Cert} + ABS(B) \quad (X2.34)$$

X2.9.6 为确定试块认证评价硬度值以布氏硬度单位表示的不确定度  $U_{Cert}(HBW)$ ，以方程 X3.24 计算以压痕直径表示的不确定度，必须使用方程 X2.3 进行转换，其中  $\Delta d$  被  $U_{Cert}(mm)$  代替。计算值  $\Delta H$  随之被替换成以布氏硬度单位表示的新值  $U_{Cert}(HBW)$ ：

$$U_{Cert(HBW)} = U_{Cert(mm)} \times \left( \frac{H \times (D + \sqrt{D^2 - d^2})}{d \times \sqrt{D^2 - d^2}} \right) \quad (X2.35)$$

注 X2.16——当使用方程 X2.35 时，在方程 X2.3 中的第一个负号被删除，因为不确定度值永远是正值。

X2.9.7 对于本分析，使用包含因子  $k=2$ 。这个包含因子提供了约 95% 的置信度。

X2.9.8 报告测量不确定度—— $U_{Cert}$  值是对标准试块报告的认证评价硬度值的不确定度估计值。报告值应附加有规定不确定度适用的布氏硬度标尺及硬度级别的解释性说明，如：“试块认证值的扩展不确定度按照 ASTM E10 的附件 XI 进行计算，具有的包含因子为 2，具有的置信度约为 95%。”

X2.9.9 示例——试块标准化实验室已完成硬度为 100HBW 10/500 的试块的校准，并使用分辨率为 0.01mm 的测量系统对压痕进行测量。实验室必须确定试块认证硬度值的不确定度。硬度 100 HBW 10/500 被认为位于 HBW 10/500 标尺的高硬度范围。这五个校准测量值结果为：

平均直径长度：2.53、2.50、2.50、2.51 及 2.51mm

计算平均压痕直径：2.51mm

计算硬度值：97.8、100、100、99.4 及 99.4 HBW 10/500

计算平均硬度值：99.4 HBW 10/500

因此：

$$u_{Rep\&NU}(Calib. Block) = \frac{STDEV(2.53, 2.50, 2.50, 2.51, 2.51)}{\sqrt{5}} \quad [Eq X2.12],$$

$$u_{Rep\&NU}(Calib. Block) = 0.0055 \text{ mm}$$

对于该示例，假设上一次对 HBW 10/500 标尺的高硬度范围直接检定报告为：

$$u_{Mach(mm)}: 0.015 \text{ mm}$$

$$\text{Bias, } B_{(mm)}: -0.004 \text{ mm}$$

同时假设硬度设备已经进行一段较长时间的监控，并由方程X2.13，确定：

$$\text{对于HBW 10/500标尺的高硬度范围, } u_{Reprod} = 0.004 \text{ mm}$$

其他不确定度贡献计算如下：

$$u_{Resol} = \frac{0.01}{\sqrt{12}} = 0.0029 \text{ mm [Eq X2.14]}$$

因此：

$$u_{Cert(mm)} = \sqrt{0.0055^2 + 0.004^2 + 0.0029^2 + 0.015^2} \text{ [Eq X2.33],}$$

$$u_{Cert(mm)} = 0.0167 \text{ HBW 10/500}$$

又因为  $B = -0.004 \text{ mm}$ ,

$$U_{Cert(mm)} = (2 \times 0.0167) + \text{ABS}(-0.004) \text{ [Eq X2.34],}$$

$$U_{Cert(mm)} = 0.0374 \text{ mm}$$

以布氏硬度单位表示：

$$U_{Cert(HBW)} = 0.0374 \times \left( \frac{99.4 \times (10 + \sqrt{10^2 - 2.51^2})}{2.51 \times \sqrt{10^2 - 2.51^2}} \right) \text{ [Eq X2.35],}$$

$$U_{Cert(HBW)} = 3.0 \text{ HBW 10/500} \text{ 对于单个校准试块的认证硬度值。}$$

E28委员会已经指出了挑选出来的更改位置，这些对上一版（E10-14）的更改可能影响本标准使用。

(1) A1.5.2.3 被更改。

E28委员会已经指出了挑选出来的更改位置，这些对上一版（E10-12）的更改可能影响本标准使用。

(1) 9.1.1 被更改。

ASTM International 没有提供在本标准中相关条款涉及的任何专利权利的有效性。本标准的使用者已被明确建议确认任何专利权利的有效性，以及上述侵犯上述权利的风险，完全是使用者自己的责任。

本标准可以在任何时候由负责的技术委员会进行修订，且必须每五年复查一次，若没有更改，要么再次批准要么取消。欢迎您的评论，不论是本标准版本或附加标准，并应被提交至ASTM International 总部。您的评论会在负责技术委员会的会议上得到认真的考虑，该会议您也可以参与。若您觉得您的评论没有得到公平的申诉机会，您应使您的观点让ASTM 标准委员会知晓，通过以下地址。

本版权归 ASTM International 所有，地址：100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States。本标准的单独重印本（单份或多份复印件）可以联系ASTM 获得，通过上述地址或 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), 或者 service@astm.org (e-mail); 或通过 ASTM 网站 ([www.astm.org](http://www.astm.org))。本标准影印的权利也可由 Copyright Clearance Center 进行保护，地址：222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, Tel: (978) 646-2600; <http://www.copyright.com/>。