



ASTM E10 - 12
金属材料布氏硬度的标准试验方法
(中文版)
Standard Test Method for
Brinell Hardness of Metallic
Materials

美国材料与试验协会
2012

目 录

1. 范围.....	1
2. 引用文件.....	1
3. 术语和等式.....	2
4. 意义和应用.....	4
5. 试验原理和设备.....	4
6. 试样.....	6
7. 试验程序.....	9
8. 其它硬度刻度或抗拉强度值的转换.....	10
9. 报告.....	10
10. 精度和偏差.....	11
11. 关键词.....	11
附录（强制性信息）.....	13
附录（非强制性信息）.....	28

金属材料布氏硬度的标准试验方法^①

本标准按固定的编号 E10 发布，紧随标记后的数字代表最初实施的年份，在经修订的情况下，代表最新修订本的年份。括号中的数字代表最近一次复审的年份，右上标(e)表示自上次修订或复审以来所作的编辑上的修改。

本标准已供美国国防部的机构批准使用。

1. 范围

1.1 本试验方法适用于通过布氏压痕硬度原理测定金属材料布氏硬度。本标准包括布氏硬度试验机的要求和布氏硬度试验执行程序。

1.2 本标准包括以下四个附件的附加信息要求：

布氏硬度试验设备的校验	附录 A1
布氏硬度标定设备	附录 A2
布氏硬度压头的标定	附录 A3
布氏硬度试验块的标定	附录 A4

1.3 本标准包括布氏硬度试验相关的非强制性的附件信息。

布氏硬度数值表	附件 X1
确定布氏硬度不确定性的程序	附录 X2

1.4 布氏硬度开始提出这个概念之时，力值水平采用千克力 (kgf) 作为单位。尽管本标准规定力值采用 SI 国际体系单位 (即牛顿 N)，但由于历史沿革和方便继续使用 kgf 单位等原因，本标准还采用 kgf 单位表示的数值作为参考信息，同时本标准的多数讨论所涉及力值单位均为 kgf 单位。

1.5 本标准并不涉及与使用本标准有关的所有安全问题，若有任何安全问题。在使用本标准以前，制定适当安全和健康操作规范并确定规定极限值的适用性，是本标准用户的职责。

2. 引用文件

2.1 ASTM 标准^②

E29 试验数据采用有效数字确定符合规范的标准方法

^① 本试验方法受 ASTM 的 E28 《力学性能试验》委员会的权限管辖，并且，除了另外指定外，由 E28.06 《压痕法硬度试验》分委员会直接负责。

现版本于 2012 年 1 月 1 日批准，2012 年 3 月出版。原版本在 1924 年获得批准。前一个最新版是 2010 年批准的 E10-10。DOI: 10.1520/E0010-12。

^② 对于 ASTM 的参考标准，可登陆 ASTM 网站，www.astm.org 或联系 service@astm.org 的 ASTM 客户服务部。ASTM 标准年报资料，参见 ASTM 网站的本标准的文件概要页。

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

E140 布氏硬度、维氏硬度、洛氏硬度、洛氏表面硬度、努氏硬度和肖氏硬度的材料硬度转换表

E384 材料努氏和维氏硬度标准测试方法

2.2 美国轴承供应商协会标准

ABMA 10-1989 金属压球^③

2.3 ISO 标准

ISO/IEC 17011 合格评定认可机构通用要求

ISO/IEC 17025 校准和试验执行通用要求^④

3. 术语和等式

3.1 定义

3.1.1 校准—通过与仲裁设备或仲裁标准装置测定的数值相互比较，确定关键参数的数值。

3.1.2 校验—进行检查或测试，以确保符合规范要求。

3.1.3 标定—通过校验或校准，使得与已知标准试块一致。

3.1.4 布氏硬度试验—采用鉴定试验机施加力值到某一压头（直径为 D 的硬质合金压球），在规定的条件下，将压头压入材料表面，则该压痕硬度试验称为布氏硬度试验。力值移除之后，测量压痕直径 d 。

3.1.5 布氏硬度数值—正比于与试验力除以凹痕曲面面积的商的数，假定凹痕是球形的，并具有该球的直径。

3.1.6 布氏硬度刻度—用于识别用于执行布氏硬度试验的压头直径和施加力值特定组合的某一称号。

3.1.7 布氏硬度试验机—普通试验用途用布氏硬度设备。

3.1.8 布氏硬度标定设备—用于布氏硬度试块标定的布氏硬度设备。标定设备与常规布氏硬度试验机不同，通常某些参数设置为较紧公差。

3.1.9 力值-直径比率—该比率指试验力（单位为 kgf）除以压头直径（单位为 mm）的比值（见表 1）。

3.2 等式：

3.2.1 布氏硬度数值计算公式如下：

^③ 可从美国轴承制造商协会（ABMA）获得，2925M Street, NW, Suite 800, Washington, DC 20036

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

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

式中:

F_{kg} =试验力, kgf

D =压球直径, mm

d =压痕平均测量直径, mm (见表 1)

3.2.2 在每个硬度等级, 在特定校验条件下, 布氏硬度试验机的再现性 R 可通过标定试块来执行性能校验, 获得的 n 个压痕测量直径范围可确定再现性 R :

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

其中:

d_{\max} =最大压痕测量平均直径

d_{\min} =最小压痕测量平均直径

3.2.3 n 次布氏硬度测量值 H_1, H_2, \dots, H_n 的平均值计算公式为:

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

3.2.4 每个硬度等级的布氏硬度试验机性能的误差 E 测定公式为:

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

其中:

\bar{H} (等式 3) = 性能校验时, 在标定试块上进行的 n 次硬度试验 H_1, H_2, \dots, H_n 的平均值。

H_{STD} =标定试块的校验平均硬度值。

3.2.5 压痕的平均直径 d 计算公式为:

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

其中:

d_1, d_2, \dots, d_n =压痕测量直径 (单位为 mm)

n =直径测量数值。

3.2.6 一组压痕直径算术平均值 \bar{d} 计算公式如下:

$$\bar{d} = \frac{d1 + d2 + \dots + dN}{N} \quad (6)$$

其中:

d_1, d_2, \dots, d_N = 压痕平均直径 (单位为 mm)

N = 压痕数量 (见附件 A4)。

表 1 符号和名称

符号	名称
D	压头直径, mm
F	试验力, N
F_{kgf}	试验力, kgf $F_{kgf} = 1/g_0 \times F$ 其中 g_0 为重力加速度 $g_0 = 9.80665 \text{ kgf/N}$
d	压痕平均直径, mm $d = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{n}$ 其中 $d_1 + d_2 + \dots + d_n$ 为压痕测量直径, 单位为 mm; n 为直径测量次数。
h	压痕深度, mm $h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$
力值-直径比率	$\frac{F_{kgf}}{D^2}$
HBW	布氏硬度 = 试验力 / 压痕表面积 = $\frac{2F_{kgf}}{D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$

4. 意义和应用

4.1 布氏硬度试验提供关于材料的重要信息。该信息可与金属材料的拉伸强度、耐磨性、韧性或其它物理特征相关联, 并可用于材料的质量控制和选择。

4.2 布氏硬度试验被认为可满足商务发货验收试验的要求, 并为此目的, 已广泛地用于工业领域。

4.3 在零件特殊部位做的布氏硬度试验, 可能不代表整个零件或最终产品的物理特性。

5. 试验原理和设备

5.1 布氏硬度试验原理—布氏压痕硬度试验的普通原理包括两个步骤 (见图 1)。

5.1.1 步骤 1—压头沿着垂直于表面方向接触到试验样本, 然后施加试验力 F 。试验力作用规定的保持时间, 然后移除试验力。

5.1.2 步骤 2—至少在两个互相垂直的两个方向测量压痕直径。布氏硬度值可通过直径测量平均值获得。

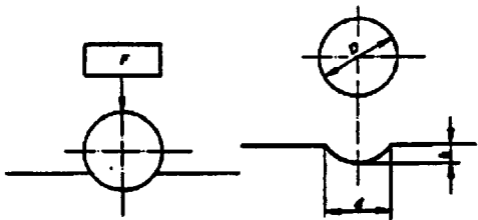


图1 试验原理

5.2 布氏硬度试验设备—布氏硬度试验设备一般包括一台试验机，用于支承试件，并向与试件接触的一个球体施加产生压痕的力，同时包含符合布氏硬度试验原理的测量压痕直径平均值的系统。试验机的结构应使压头或试样在施力期间不出现晃动或侧向移动。试验机的结构应确保平滑地向压头施力。应注意避免由系统的惯性、液压系统超调等引起瞬时的高试验力。

5.2.1 有关试验机的特性、极限值和各自的操作规程，见设备制造商的说明书。

5.2.2 铁砧—铁砧或样本支撑架应适合用于待测试的样本。所有铁砧的固定和支撑表面应干净整洁，同时无外来杂质。典型地，只有当铁砧不能沿着垂直于压头方向来支撑试验表面，或者认为铁砧不安全时，此时务必更换铁砧。

5.2.3 压头—布氏硬度试验的压头应为硬质合金球，压头四种允许直径为 1、2.5、5 和 10mm。压头应满足附件 A3 定义的要求。

5.2.4 油、污垢或其它外来杂质应不允许堆积在压头上，因为这将会影响试验结果。

5.2.5 测量设备—布氏硬度压痕直径的测量所采用的测量设备可为完整的硬度试验机或独立的单机设备。允许的测量设备可分类为两种类型。A 型设备包括含有某种类型的显示器或电脑测量系统或者图像分析系统的可移动测量线的显微镜。B 类设备带固定测量线路的手动显微镜（通常放大倍数为 20X 或 40X）。

5.2.5.1 A 型设备—A 型设备的可接受最小分辨率应按表 2 的规定。

5.2.5.2 B 型设备—B 型设备的刻度线之间的可接受的最大间距应按表 2 的规定。B 型设备应不能用于测量 2.5mm 和 1mm 球形压头产生的压痕。

5.3 校验—布氏硬度试验机和压痕测量设备应按附录 A1 进行定期校验。

5.4 试块—满足附录 A4 压球的试块应用于校验试验机是否符合附录 A1 的要求。

5.5 布氏硬度刻度—压痕和试验力的组合来定义布氏硬度刻度。相对于 1、1.25、2.5、5、10 和 30 的力值-直径比率（见表 1），标准的布氏硬度刻度和试验力见表 3 所示。布氏硬度值应

进行测定，然后按这些标准刻度的某一种进行报告。依据特殊的协商，非标准试验力可以采用其它刻度。其它刻度和相应的力值-直径比率（圆括号里数值）示例为 HBW 10/750(7.5)，HBW 10/2000(20)，HBW 10/2500(25)，HBW 5/187.5(7.5)和 HBW 5/500(20)。

表 2 压痕测量设备的分辨率和刻度

压球直径 mm	A 型	B 型
	显示器最小分辨率 mm	刻度最大间距 mm
10	0.0100	0.100
5	0.0050	0.050
2.5	0.0025	—
1	0.0010	—

5.6 布氏硬度值计算—布氏硬度数值应采用采用等式 1 计算的压痕直径 d 或附录 X1 给出的数值计算得出。

5.6.1 布氏硬度数值应不能指定为某一单独的数值，因为这有必要说明执行试验所采用的压头和力值（见表 3）。布氏硬度值之后应紧随符号 HBW，同时可以补充某一参数来表明试验条件（按以下顺序）：

5.6.1.1 压球的直径，mm

5.6.1.2 试验力表示值，kgf（见表 3）

5.6.1.3 施加力保持时间，秒，如果不是 10 到 15 秒。

5.6.2 以上压球的唯一例外就是对于 HBW 10/3000 刻度，当采用 10 到 15 秒的保持时间时，只有在此刻度时，可以简单得用 HBW 进行报告。

5.6.3 示例：

220 HBW 表示直径为 10mm 的压球，施加 29.42kN(3000kgf)试验力，保持 10 到 15 秒后所测得的布氏硬度值为 220。

350 HBW 5/750 表示直径为 5mm 的压球，施加 7.355kN(750kgf)试验力，保持 10 到 15 秒后所测得的布氏硬度值为 350。

600 HBW 1/30/20 表示直径为 1mm 的压球，施加 294.2kN(30kgf)试验力，保持 20 秒后所测得的布氏硬度值为 600。

6. 试样

6.1 布氏硬度试验试样并无标准形状和尺寸。形成压痕的试样应符合以下要求：

6.1.1 厚度—被测试试样厚度，应使在压痕背面一侧不出现表示受试验力影响的凸起或其它痕迹。试样厚度应至少为压痕深度 h 的 10 倍(见表 4)。表 4 也可用于指导材料层（例如涂层）的最小深度。

注 1—布氏硬度试验可采用高试验力值。在某些条件下如测试相对薄的材料或者高硬度材料的涂层的硬度时，加载后可发生试验材料破裂或粉碎，从而导致严重伤害到人身安全或者损坏设备。当测试在加载下可能潜在失效的材料时，使用者应非常小心地进行操作。如果存在安全问题或安全隐患，则不测试该种材料。

6.1.2 宽度—最小宽度应符合压痕间距的要求。

6.1.3 光洁度—必要时，应锉、研磨、机加工或用磨料抛光形成压痕的表面，使得能清晰地定义压痕边缘，以便允许以规定的精度测量直径。采用的加工方式应使得待测试表面的表面硬度的变化最小（例如，由于过热或冷加工）。

表 3 试验条件和推荐的硬度范围

布氏硬度刻度	球体直径, D mm	力值-直径比 率 ^A	试验力公称值, F		推荐硬度范围 HBW
			N	kgf	
HBW 10/3000	10	30	29420	3000	95.5 ~ 650
HBW 10/1500	10	15	14710	1500	47.7 ~ 327
HBW 10/1000	10	10	9807	1000	31.8 ~ 218
HBW 10/500	10	5	4903	500	15.9 ~ 109
HBW 10/250	10	2.5	2452	250	7.96 ~ 54.5
HBW 10/125	10	1.25	1226	125	3.98 ~ 27.2
HBW 10/100	10	1	980.7	100	3.18 ~ 21.8
HBW 5/750	5	30	7355	750	95.5 ~ 650
HBW 5/250	5	10	2452	250	31.8 ~ 218
HBW 5/125	5	5	1226	125	15.9 ~ 109
HBW 5/62.5	5	2.5	612.9	62.5	7.96 ~ 54.5
HBW 5/31.25	5	1.25	306.5	31.25	3.98 ~ 27.2
HBW 5/25	5	1	245.2	25	3.18 ~ 21.8
HBW 2.5/187.5	2.5	30	1839	187.5	95.5 ~ 650
HBW 2.5/62.5	2.5	10	612.9	62.5	31.8 ~ 218
HBW 2.5/31.25	2.5	5	306.5	31.25	15.9 ~ 109
HBW 2.5/15.625	2.5	2.5	153.2	15.625	7.96 ~ 54.5
HBW 2.5/7.8125	2.5	1.25	76.61	7.8125	3.98 ~ 27.2
HBW 2.5/6.25	2.5	1	61.29	6.25	3.18 ~ 21.8
HBW 1/30	1	30	294.2	30	95.5 ~ 650
HBW 1/10	1	10	98.07	10	31.8 ~ 218
HBW 1/5	1	5	49.03	5	15.9 ~ 109
HBW 1/2.5	1	2.5	24.52	2.5	7.96 ~ 54.5
HBW 1/1.25	1	1.25	12.26	1.25	3.98 ~ 27.2
HBW 1/1	1	1	9.807	1	3.18 ~ 21.8

^A 见表 1。

表4 最小样本厚度（基于10倍的压痕深度）

压痕直径 d	最小试样厚度							
	10 mm 球		5mm 球		2.5mm 球		1mm 球	
mm	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					0.8	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			1.1	0.039	2.1	0.084		
1.5			1.3	0.045	2.5	0.098		
1.6			1.3	0.052				
1.7			1.5	0.059				
1.8				0.066				
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	2.5	0.100						
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 压痕直径应为球径的 24 和 60% 之间。对于以上范围的压痕直径，近似的布氏硬度值见表 3 所示。

注 2—由于存在损坏球的风险，同时难于测量压痕，规定压痕直径的下限值是有必要的。由于压痕直径的敏感度的减小接近于球直径，对于某一特定试验，厚度和间距要求可以确定压痕最大的允许直径。规定上限值是有必要的。

注 3—如果不是强制要求布氏硬度试验满足表 3 的硬度刻度要求。应认识到某一给定的材料如果相同尺寸的压痕使用不同的力可获得不同的布氏硬度值。为获得连续的布氏硬度值，对于某一给定等级的材料，最好使用单一力值，以包含硬度的完整范围。

7.2 布氏硬度试验不推荐用于 650HBW 10/3000 以上的材料。

7.3 只有当力值-直径比率维持不变时（见表 3），只可以采用不同刻度进行布氏硬度值的直接比较。在相同测试材料上执行的布氏硬度试验，如果采用不同力值-直径比率，将产生不同的布氏硬度值。

7.3.1 示例—对于相同刻度，当力值-直径比率为 5 时，某一 HBW 10/500 试验通常将等效于 HBW 5/125 试验。然而，对于相同的测试材料，由于不同力值-直径比率（各自为 5 和 30），160 HBW 10/500 的硬度值将等效于 180HBW 10/3000 硬度。

7.4 日常校验—在进行硬度试验之前，试验机的日常校验应按附录 A1 执行。应只能在试块的校准表面进行硬度测量。每次改变试验力，铁砧或压头时，推荐按附录 A1 规定的日常校验方法检查设备的操作。

7.5 压入程序—布氏硬度试验应按以下方法执行：

7.5.1 在没有冲击、振动或过冲的情况下，压头沿着垂直于表面方向接触试验表面。压头施力线与原本表面之间的角度应为 90°。

7.5.2 在 1 到 8 秒之内施加试验力 F。如果经验证力值施加时间不会影响试验结果，允许采用较快的力作用时间。

7.5.3 保持施加的试验力 10 到 15 秒，除非以下的例外情况。

7.5.3.1 当试验力施加之后，材料显示过量的塑性流动时，可能有必要进行特殊考虑，因为此时压头将渗入材料中。这些材料的测试可能要求使用比以上所述更长的作用力保持时间，该时间应符合产品规范的规定。当采用延长的作用力保持时间时，应记录保持时间，然后与试验结果一起报告（见 5.6.1）。

7.5.4 保持时间结束后，立刻移除试验力而不发生冲击或振动。

7.6 压痕测量

7.6.1 测量两个互相垂直的方向的每个压痕的直径。也可以进行附加的压痕直径测量。测量值的算术平均值应用于计算布氏硬度值。

7.6.2 对于常规试验，压痕直径，当采用 A 型设备时，测量精确到测量设备的分辨率；当采用 B 型设备时，测量精确到刻度距离。

7.6.3 当在平坦表面测试时，相同压痕的最大和最小测量直径的差值应不超过 0.1mm，除非产品规范另有规定，例如对于各向异性晶粒结构，其差值可为 0.2mm。

7.6.4 当在曲面测试压痕时，表面弧形的最小半径应为 2.5 倍的压球直径。曲面获得的压痕可为稍微的椭圆，而不是形状为圆。应在大轴和小轴的中间处测量压痕。

7.7 压痕距离—两个临近压痕中心之间的距离应至少为 3 倍的压痕平均直径。

7.7.1 任意压痕至试片某一边缘的距离应至少为 2.5 倍的压痕平均直径。

7.8 布氏硬度试验应在室温（温度范围为 10~35℃（50~95°F））下进行。布氏硬度试验员应注意测试材料的温度和硬度试验机的温度可能影响试验结果。因此，试验员应确保试验温度不会对硬度测量产生有害的影响。

8. 其它硬度刻度或抗拉强度值的转换

8.1 目前没有通用方法精确得将某一刻度的布氏硬度值转化为另一刻度的布氏硬度值，或者其它类型的硬度值，或者抗拉强度值。上述转换至多为近似转换，因此应尽量避免进行上述转换，除非在通过比较试验已经获得了近似转换的可靠偏差。

注 4—E140 的金属标准硬度转换表给出了特殊材料（例如钢、奥氏体不锈钢、镍和高镍合金、弹簧钢、铜合金和白口铸铁合金）的近似转换值。

9. 报告

9.1 试验报告至少应包括以下信息：

9.1.1 试验结果的布氏硬度值 \bar{H} ，按规程 E29 圆整到 3 位有效数字，例如 125HBW 或 99.2HBW。

9.1.2 试验条件，当采用的不是 3000kgf(29.42kN)作用力，10mm 直径的球和 10~15s 的试验力作用时间时。

9.1.3 说明压痕测量设备为 A 型，当采用了该种设备时。当采用 B 型压痕测量设备时，不要求作出说明。

9.1.4 试验的环境温度，如果不是 10~35℃（50~95°F）范围，除非在规定范围之外的温度显示不会影响测量结果。

10. 精度和偏差

10.1 本试验方法的精度基于试验方法 E10 在 2006 年执行的内部实验室研究结果。上述研究可替代先前采用钢球压头的研究。8 个实验室的每一个都曾经测试了金属材料的布氏硬度。对于硬度的不同等级，总共 7 种不同材料执行了 3 次分析实验。每次分析分别执行了 3 次重复。本研究的结果归档在 ASTM 研究报告中。

10.2 可重复性—如果两个实验结果的差值大于 r_{PB} (r_{PB} 为该材料的区间值)，一个实验室内部获得的两个实验结果应判定为不等效。 r_{PB} 为区间，表示相同操作者采用相同设备在同一天同一实验室在相同材料上获得的两次试验结果的临界差值。

10.3 再现性—如果两个实验结果的差值大于 R_{PB} ，一个实验室内部获得的两个实验结果应判定为不等效。 R_{PB} 为区间，表示不同操作者采用不同设备在不同实验室在相同材料上获得的两次试验结果的临界差值。

10.4 按说明 10.2 或 10.3 做出的任何判定将大约有 95% 的准确概率。

10.5 内部实验室研究获得结果归纳为表 5。

10.6 偏差—在研究时，如果没有可接受的仲裁材料适合用于测定本实验方法的偏差时，可以不必对偏差进行说明。

11. 关键词

11.1 布氏；硬度；机械试验；金属。

表 5 统计资料摘要

试块	\bar{X}	$S\bar{X}$	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	284.673	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

附录

(强制性信息)

A1. 布氏硬度试验机的校验

A1.1 范围

A1.1.1 附录 A1 规定了三项布氏硬度试验机校验规程，即直接校验、间接校验和日常校验。

A1.1.2 直接校验是指校验硬度试验机关键零件是否在允许公差范围的规程，直接校验时分别直接测定试验力、压痕测量系统和试验周期。

A1.1.3 间接校验是指用标准试块和压头方法定期校验试验机的性能的规程。

A1.1.4 日常校验是指通过标准试块方法通过间接校验来监控试验机性能的规程。

A1.2 一般要求

A1.2.1 当发生可能影响试验机性能的情况时，试验机应按表 A1.1 规定的特定示例和周期间隔进行校验。

A1.2.2 校验时温度测量应采用精度至少为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 或 $\pm 3.6^{\circ}\text{F}$ 的设备。建议整个校验期间全程监控温度，同时应记录并报告主要的温度变化。对于日常校验，校验温度没有必要进行测量。

表 A1.1 布氏硬度试验机的校验周期

校验规程	周期
直接校验	当试验机为新购买设备，或当进行调节、更改或维修（这些操作可能影响试验力施加或测量系统）时，或当试验机在间接校验时失效时。
间接校验	建议每隔 12 个月或者更频繁（如果需要），校验周期不应长于 18 个月。 当试验机和装置后只要求校验已知条件的规程，见 A1.4.4），或当移动试验机时（只要求校验已知条件的规程，见 A1.4.4），这不适用于标记为待移动的设备或者每次试验之前对设备进行；同时先前验证表明该种移动将不会影响硬度试验结果。 间接校验应定期进行直接校验之后。
日常校验	硬度试验执行的每一天都要求执行日常校验。 建议任何时候改变压头或试验力时进行日常校验。

A1.2.3 所有要求按照本附录进行测量的设备应进行校准，当存在可追溯体系时，校准追溯至国家标准，除非另有规定。

A1.2.4 试验机的间接校验应在将在使用的位置执行。

A1.2.5 新制造或重新组装的试验机的间接校验可以在制造、重新组装、维修或使用位置处执行。

注 A1.1—建议执行布氏硬度试验机的校准机构通过 ISO 17025（或等效标准）的资质鉴定要求，通过 ISO/IEC 17011 的操作要求，从而成为国际实验室授权机构（ILAC）。

A1.3 直接校验

A1.3.1 试验机的直接校验应按表 A1.1 的特定条件执行。应分别校验试验力、压痕测量装置和试验周期。

注 A1.2—直接校验是一种有用的手段，可有用测定布氏硬度试验机误差来源。建议已通过直接校验的试验机进行定期的直接校验，以确保设备的某一零件的误差不会因为另一零件的误差而发生偏移。

A1.3.2 试验力校验—对于每个将要采用的布氏硬度刻度，应测量相应的试验力。试验力应通过 A 型弹性力测量设备的方法进行测量，按规程 E74 所述，A 型设备的精度至少为 0.25%。

A1.3.2.1 每个试验力执行 3 次测量。试验期间，施加试验力时，应测量试验力；然而，当必要时，允许采用较长的保持时间，以确保测量设备获得精确测量。

A1.3.2.2 每个试验力 F 应精确到表 3 定义的公称试验力的 $\pm 1\%$ 之内。

A1.3.3 压痕测量系统的鉴定—应在整个工作范围的五个区段上校验用于测定压痕直径的测量装置，采用精密刻度尺，如分级测微计。校验 A 型和 B 型设备所采用的分级测微计精确度应至少为 0.005mm（对于 5mm 和 10mm 球试验），或至少为 0.001mm（对于 2.5mm 和 1mm 球试验）。

A1.3.3.1 对于 A 型设备，每个试验周期，分级测微计和测量设备之间的误差应不超过表 2 所示的与待使用的压头尺寸相关的 A 型设备最小显示器分辨率。

A1.3.3.2 对于 B 型设备，不可能测定定量的误差值。固定测量设备以使得测量设备的测量刻度线尽可能接近分级测微计的测量刻度线。至少特定得，如果测量设备的任何刻度线不与分级测微计的相应刻度线相重叠，此时应调节测量设备。

A1.3.4 试验周期的校验—试验机应校验是否能满足 7.5 规定的试验周期公差要求。在设备制造时，当试验设备返还给制造商进行维修时，或者试验周期相关的某个问题可疑时，试验周期的直接校验应由试验设备制造商执行。建议进行试验周期的校验，但在其它时候不要求作为直接校验的一部分。

A1.3.5 间接校验不合格—如果任何间接校验不符合规定的要求，应不能使用试验机直到设备得到调节或维修。如果试验力、压痕测量系统或试验周期可能受到某一调节或维修操作的影响，受影响的零件应通过直接校验法再次进行校验。

A1.4 间接校验

A1.4.1 试验机的间接校验应按表 A1.1 给定的周期执行，间接校验可能要求比表 A1.1 所示更加频繁的试验频率，同时应根据试验机的使用情况进行确定。

A1.4.2 对于待采用的每个试验力和每个球直径，在进行下一次间接校验之前，应校验试验机。如果布氏硬度刻度未按表 A1.1 给出的周期进行校验，当采用该种硬度刻度进行硬度试验时，此时的硬度试验不满足本标准要求。

A1.4.3 间接校验所采用的标定试块应满足附录 A4 的要求。硬度测量应只能在试块的校准表面上执行。

注 A1.3—应认识到适当的标定试块不适用于所有几何形状、材料或硬度范围。

A1.4.4 已知条件—建议试验机的已知条件应评定为间接校验的一部分。归档设备的历史性能信息是非常重要的。在进行任何清洗、维修、调节或维修之前，应由鉴定机构执行本程序。

A1.4.4.1 当确定试验机的已知条件时，应使用试验机通常采用的用户压头执行评估。

A1.4.4.2 对于每个将要接受间接鉴定的布氏硬度刻度，应在常规测试范围内测试一个或更多个标定试块。

A1.4.4.3 在每个标定试块上，在试验表面上均匀分布位置执行至少两次布氏硬度试验。对于每个测量后的标定试块，测定试验机性能的再现性 R 和误差 E（等式 2 和等式 4）。

A1.4.4.4 再现性 R 和误差 E 应在表 A1.2 公差之内。如果再现性 R 和误差 E 的计算值落在规定公差之外，这表面从最近的间接校验之日起执行过的硬度试验可疑。

A1.4.4.5 清洗和维护—按制造商规范和说明执行试验机的清洗和日常维护（当要求时）。

A1.4.6 间接校验程序—间接校验程序可用于验证所有待使用的布氏硬度刻度是否合适、每个试验力是否准确施加，每个压头-球尺寸是否正确和测量设备是否在压痕尺寸范围内准确校准。上述操作通常伴随在试块（试块已经采用相应的试验力和压头球尺寸，选择合适的布氏硬度刻度进行了校准）上执行布氏硬度试验。

A1.4.6.1 应选择试块的校准值和布氏硬度刻度，以使得满足以下指标：

(1) 对于将要采用的每个试验力，至少应测试一个试块。

(2) 对于将要采用的每个压头-球尺寸，至少应测试两个试块，在试块商用范围内，一个试块用于低硬度等级，一个试块用于高硬度等级。当多个待校验的布氏硬度刻度采用了相同球尺寸，此时布氏硬度刻度应采用最高试验力在低硬度等级试块上执行校验以产生最大的压痕尺寸，同时布氏硬度刻度应采用最低试验力在高硬度等级试块上执行校验以产生最小的压痕尺寸。压痕尺寸的两个极限值将用于验证测量设备的性能。试块不需要采用相同力值/直径比率的刻度。

(3) 每个试块校准后的布氏硬度刻度作为待校验的某一个刻度。

(4) 布氏硬度刻度应使用低硬度等级和高硬度等级试块进行校验时，但是试块可商用于唯一一个硬度等级，使用 1 个试块执行间接校验，然后按 A1.3.3 直接校验测量设备。

(5) 当没有试块可商用于某一特定要求校验的布氏硬度刻度时，采用 A1.3.2 对应的刻度直接校验力值水平，然后按 A1.3.3 直接校验测量设备。

示例 1—当试验机将要校验 HBW 10/3000 和 HBW 5/750 刻度时，至少，对于两种球尺寸的任意一种，要求采用两个试块进行校验，因此总共需要 4 个试块：1 个试块用于鉴定 HBW

10/3000 刻度的低硬度等级, 1 个试块用于鉴定 HBW 10/3000 刻度的高硬度等级, 1 个试块用于鉴定 HBW 5/750 刻度的低硬度等级, 1 个试块用于鉴定 HBW 5/750 刻度的高硬度等级。注意也可测试两个试验力。

表 A1.2 试验机的重复性和误差

参考试块的硬度, HBW	最大允许重复性, R d 的% (见公式 6)	最大允许误差, E H的%
HBW \leq 125	3	3
125<HBW \leq 225	2.5	3
HBW>225	2	3

示例 2—当试验机将要鉴定 HBW 10/3000、HBW 10/1500 和 HBW 10/1000 刻度时, 至少, 对于要求鉴定的力值水平的任意一种, 要求采用一个试块进行校验, 因此总共需要 3 个试块: 1 个试块用于鉴定 HBW 10/3000 刻度的低硬度等级, 1 个试块用于鉴定 HBW 10/1000 刻度的高硬度等级, 1 个试块用于鉴定 HBW 10/1500 刻度的任何硬度等级。当此种情况下, 尽管只有一种压球尺寸, 必须校验 3 个试验力。最大试验力 (29420N, 3000kgf) 刻度在低硬度等级试块上进行测试, 最小试验力 (9807N, 1000kgf) 刻度在高硬度等级试块上进行测试。中间试验力 (14710N, 1500kgf) 刻度可在低硬度或高硬度等级试块上进行测试。

示例 3—试验机将只要校验 HBW 10/3000 刻度时, 至少要求采用 2 个试块用于校验: 一个以 HBW 10/3000 为刻度的低硬度等级试块, 另一试块以 HBW 10/3000 为刻度的高硬度等级试块。当该种情况下, 尽管只将要鉴定一种布氏硬度刻度, 要求采用两个不同硬度等级的试块用于校验。

A1.4.6.2 执行间接校验硬度试验之前, 测量设备应通过测量两个仲裁压痕 (该仲裁压痕为间接校验采用的仲裁试块上获取的压痕) (见 A4.5.6) 的直径来进行间接校验。在每个仲裁试块上找出仲裁压痕。待测量的两个仲裁压痕应为具有最小直径的压痕和具有最大直径的压痕。对于 A 型设备, 测量尺寸应协商在鉴定直径值的 0.5%之内。对于 B 型设备, 测量尺寸应评估为鉴定直径值的 $\pm 0.02\text{mm}$ 之内 (对于 10mm 球产生的压痕) 或者在 $\pm 0.01\text{mm}$ (对于 5mm 球产生的压痕)。任何的测量值的差值变大, 测量设备应按 A1.3.3 进行直接校验。作为仲裁压痕测量的可替代方法, 测量方法可按 A1.3.3 进行直接校验。

A1.4.6.3 试验机应采用用户常规测试使用的压头进行校验。

A1.4.6.4 在每个标定试块上, 在试验表面的均匀分布位置, 采用 5mm 或 10mm 球执行三次试验, 或者采用 2.5mm 或 1mm 球执行五次试验。对于每个待校验的布氏硬度刻度所表示的每个硬度等级, 应测试试验机性能的再现性 R 和误差 E (等式 2 和等式 4)。再现性 R 和误差 E 应在表 A1.2 的公差之内。

A1.4.6.5 如果使用用户压头所获得的再现性 R 或误差 E 的测量值落在规定的公差之外, 可使用不同的球重复进行间接校验。

A1.4.6.6 当采用用户压头所获得的试验机的再现性和误差的测量值满足规定公差时, 间接校验应批准为合格。

A1.4.7 当在间接校验期间有必要更换压头时, 新压头应采用特定试验机进行校验。在按照 A1.4.4 上述给出的已知条件执行了校验程序之后, 用户可执行上述校验。

A1.5 日常校验

A1.5.1 日常校验拟作为用户的一种手段, 可用于监测间接校验期间试验机的性能。对于将要采用的布氏硬度刻度, 日常校验应至少按表 A1.1 给出的周期执行。

A1.5.2 日常校验程序—日常校验程序应按下列要求执行。

A1.5.2.1 对试块使用之前, 对于每个将采用的布氏硬度刻度, 至少 1 个满足附录 A4 要求的标准试块应进行测试。当试块用于商业用途时, 选择的试块硬度等级应近似与待测量的材料的硬度值相同。

A1.5.2.2 日常校验将要采用的压头应为常规测试使用的压头。

A1.5.2.3 每个日常校验试块应执行至少两次硬度试验。测试应在试块表面的均匀分布位置执行。

A1.5.2.4 对于测量后的每个标定试块, 应测定试验机性能的误差 (E) (等式 4)。如果试块的任意硬度试验值和校验值之间的差值落在表 A1.2 给出的最大允许误差公差之外, 此时应测试再现性 R (等式 2)。

A1.5.2.5 对于每个试块, 如果误差 E 和再现性 R (如果计算得出) 落在表 A1.2 给出的公差之内, 此时带压头的试验机可认为是性能合格。

A1.5.2.6 对于任意试块, 如果误差 E 和再现性 R (如果计算得出) 落在公差之外, 可采用不同的球或压头重复日常校验。如果任意试块所获得的误差 E 和再现性 R 再次落在公差之外, 应执行间接校验。任何时候试验机日常校验不合格时, 则从最近一次的有效日常校验之日起执行的硬度试验不可信。

A1.5.2.7 如果布氏硬度试验机使用试块进行的日常校验不合格, 测试应采用标定试块测量仲裁压痕 (见 A4.5.6) 来校验测量设备。测量尺寸应符合鉴定直径值落在 A1.4.6.2 给出的公差之内的要求。如果差值较大, 测量设备应按 A1.3.3 进行直接校验。

注 A1.4—强烈建议日常校验试验获得的结果采用可接受的统计过程控制技术进行报告, 例如, 但不局限于, X-条状图 (测量平均值) 和 R 图 (测量值范围) 和柱状图。

A1.6 校验报告

A1.6.1 直接校验和间接校验都要求有校验报告。日常校验对校验报告不作要求。

A1.6.2 校验报告应由执行校验的人员书写，适用时，校验报告应包括以下信息。

A1.6.3 直接校验

A1.6.3.1 按本 ASTM 试验方法的证明书

A1.6.3.2 硬度试验机的标识，包括序列号和型号。

A1.6.3.3 压痕测量设备的标识，包括序列号、型号，和是否为 A 型或 B 型设备。

A1.6.3.4 所有用于校验的设备（弹性检验设备等）标识，包括序列号，可追溯的制造标准标识。

A1.6.3.5 校验时的试验温度，温度报告时分辨率至少为 1℃。对于日常校验，校验温度没有需要进行报告，除非温度落在推荐范围之外或者显示可能影响试验结果。

A1.6.3.6 用于确定试验机是否满足校验要求的各个测量值和计算结果。建议也应报告用于确定是否试验机是否满足校验要求的计算结果的不确定性数值。

A1.6.3.7 试验机进行过的调节或维护描述，当适用时。

A1.6.3.8 校验日期和校验机构或部门的证明书

A1.6.3.9 校验执行人员签名

A1.6.4 间接校验

A1.6.4.1 按本 ASTM 试验方法的证明书

A1.6.4.2 硬度试验机的标识，包括序列号和型号。

A1.6.4.3 所有用于校验的设备（试块、压头等）标识，包括序列号，可追溯的制造标准标识。

A1.6.4.4 校验时的试验温度，温度报告时分辨率至少为 1℃。

A1.6.4.5 校验的布氏硬度刻度。

A1.6.4.6 用于确定试验机是否满足校验要求的各个测量值和计算结果。任何时候测定试验机的已知状态时，应包括用于测定试验机已知状态的测量值。建议也应报告用于确定是否试验机是否满足校验要求的计算结果的不确定性数值。

A1.6.4.7 试验机进行过的维护描述，当适用时。

A1.6.4.8 校验日期和校验机构或部门的证明书

A1.6.4.9 校验执行人员签名

A1.6.5 日常校验

A1.6.5.1 校验报告不作要求；然而，建议保留日常校验结果的记录，包括校验日期，测量结果，试块的鉴定值，试块标识和执行校验人员姓名等等（见注 A1.4）。这些记录可用于评估硬度试验机长期的性能。

A2. 布氏硬度标定设备

A2.1 范围

A2.1.1 附录 A2 规定了布氏硬度标定设备的性能、用途、定期校验和监测要求。布氏硬度标定设备不同于布氏硬度试验机，其在某些性能特征上设置为较紧的公差，例如力值施加和压痕测量设备。布氏硬度标定设备用于标定附录 A4 所述的布氏硬度试块。

A2.2 资质

A2.2.1 布氏硬度标定设备的直接或间接校验的执行机构应为通过 ISO 17025（或等效标准）认证而获得国际实验室授权机构（ILAC），可按照 ISO/IEC 17011 要求操作的机构。获得布氏硬度标定设备校验资质的机构可有权执行自身内部标定设备的校验。标定实验室应具有授权证书/授权范围，说明校验类型（直接校验和/或间接校验）和授权证书包含的布氏硬度刻度。

注 A2.1—从本标准的本版本开始，授权证书是一个新要求。

A2.3 设备

A2.3.1 标定设备应满足布氏硬度试验机章节 5 的要求，同时增加以下要求。

A2.3.2 设计的标定设备应使得在校验期间操作者不需任何设置调节操作的前提下，可选择每一个试验力。

A2.3.3 测量设备—测量设备应为 5.2.5 所述的 A 型设备。用于测量压痕直径而配备的显微镜分级刻度尺或其他测量设备应使得允许直径评估精度落在表 A2.1 给出的公差之内。

A2.3.4 压头—应采用附录 A3 规定的压头。

A2.3.5 试验周期—标定设备应使得能满足要求的试验周期参数值要求，在试验周期的每一个阶段，试验周期数值也应在表 A2.2 规定的公差之内。

A2.4 实验室环境

A2.4.1 标定设备应放置在温度和相对湿度可控的房间中，温度和相对湿度的偏差见表 A2.3 所示。温度和相对湿度测量设备应按表 A2.3 所述。

A2.4.2 标定之前和整个标定程序期间，应监测标定实验室的温度和相对湿度。

A2.4.3 在标定之前，标定设备、压头和待标定的试块必须在满足表 A2.3 公差的环境中至少放置 1 小时。

A2.4.4 标定程序期间，标定设备应远离任何可能影响测量的振动源。

A2.5 标定设备校验

A2.5.1 标定设备应定期执行直接校验，同时当发生可能影响标定设备性能的情况发生时，也应进行直接校验，校验程序按表 A2.4。

注 A2.2—对于设备校验，在过去直接校验只可用于作为间接校验（现在不再要求）的可替代方法，而从本标准的本版本开始，定期直接校验（每隔 12 个月）是一个新要求。

A2.5.2 标定设备应监测每天执行标定时所作的校验，按照表 A2.4 的程序执行。

A2.5.3 所有用于执行本附录要求的测量值应进行校准，校准时可追溯至现行有效的国家标准（当存在追溯性体系时），除非另有说明。

A2.5.4 标定设备应在将要使用的位置处进行校验。

A2.6 间接校验程序

A2.6.1 按表 A2.4 给出的程序执行标定设备的间接校验。试验力、压痕测量系统和试验周期应进行校验。

A2.6.2 执行清洗和维护—如有要求，标定设备的清洗和常规维护应在直接或间接校验之前进行，操作方法按制造商规范和说明书。

A2.6.3 试验力的校验—对于每个将要采用的布氏硬度刻度，应测量相关的试验力。试验力测量应采用 AA 级弹性力测量设备，测量设备精度至少为 0.05%，按规程 E74 所述。

A2.6.3.1 每个试验力执行三次测量。应在试验期间施加力时，才开始测量试验力值。不允许为获得力值测量值而延长保持时间。测量期间也不允许进行调节操作。

A2.6.3.2 每个试验力 F 应精确到表 3 定义的公称试验力的 0.25% 之内。

A2.6.4 压痕测量系统的校验—用于测定压痕直径的测量设备应在加工范围的五个间隔期内执行校验，校验时使用精密刻度尺，例如分级刻度尺或其它合适的方法来确定测量值精度在表

A2.5 给出的待测量压痕尺寸相关的公差之内。分级刻度尺的精度应为 0.00025mm。

表 A2.1 压痕测量设备的分辨率

球压头直径 mm	最小分辨率 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	公差
压头接触速率	≤1mm/s
试验力施加时间	2.0~8.0s
试验力保持时间	10~15s

表 A2.3 标定实验室环境要求

环境参数	公差	测量设备的精度
温度	23±2℃ (73±5°F)	±1℃ (±2°F)
相对湿度	≤70%	±10%

表 A2.4 布氏硬度标定设备的校验周期

校验	周期
直接校验	标定试验之前, 应在 12 个月以内执行。 当标定设备为新购买设备, 移动标定设备, 或者当调节、改变或维修标定设备可能影响试验力施加、压痕测量系统或试验周期时, 都应进行直接校验。
监测	待校准的试块每天都要进行监测。不管是进行直接校验还是性能测试。

表 A2.5 压痕测量设备的最大误差

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

A2.6.5 试验周期的校验—标定设备应进行校验以确定是否满足表 A2.2 规定的试验周期公差要求。

A2.6.6 压头球—在直接校验期间, 所有已经使用过的压头球应用新的未使用的压头球进行更换, 以满足附录 A3 的要求。

A2.6.7 直接校验不合格—如果任何直接校验不符合规定的要求, 标定设备应不能使用直到得到了调节或维修。任何可能影响调节或维护的参数应通过直接校验法进行再次校验。

A2.7 监测校验程序

A2.7.1 本章节描述了标定硬度试验设备的监测程序。

A2.7.2 执行试块校准时, 标定实验室应每天对标定设备进行监测校验, 测试周期按表 A2.4。试块校准之前, 应执行监测校验, 同时也在使用试块进行直接校验或性能校验时进行监测校验。

A2.7.3 监测直接校验—当监测直接校验时, 对于当天将要使用的力值水平和布氏硬度刻度球尺寸, 应满足 A2.6 要求。

A2.7.4 监测性能校验—当监测性能校验时, 应遵循以下监测程序。

A2.7.4.1 取决于当天将要校准的试块的布氏硬度刻度, 对于将要采用的每个力值水平, 监测试验应至少在 1 个监测试块上执行; 同时对于将要采用的每个球尺寸, 监测测试应至少在 1 个监测试块上执行。监测试块应满足附录 A4 要求。选取的每个监测试块的硬度等级应在硬度刻度的中间范围。

A2.7.4.2 在试块表面上均匀分布位置处至少执行两次硬度试验。对于每个测量后的监测试块，应测定标定设备性能的误差 E （等式 4）和再现性 R （等式 2）。如果每个试块的误差 E 和再现性 R 在表 A2.6 给出的公差之内，此时可认定为带压头的标定设备的性能合格。

A2.7.4.3 如果任何误差 E 或再现性 R 测量值落在规定公差之外，此时应不认为标定设备通过了监测校验，同时应不能用于标定。任何时候标定设备监测校验不合格时，自从最近一次有效监测校验之日起执行的标定结果可能不可信。

A2.7.5 监测方法—控制图或其它比较法应用于监测直接校验期间标定设备的性能。控制图提供了一种检测缺少统计控制的方法。现在有许多讨论控制图的绘制和使用的出版物，例如 ASTM 关于质量和统计的手册，即“数据描述和控制图分析手册：第 6 版”（委员会 E11 发布）。标定实验室应绘制和使用控制图，以能最好得满足实验室的特定需要。

注 A2.3—控制图数据应由实验室依据过去的经验进行解释。需要采取纠正措施不能仅仅依靠落在控制范围之外的数据，但是可以依据过去的的数据。然而，作为一种通用惯例，一旦标定设备在可控条件下进行测定，如果发生一次数据落在控制范围之外，则这暗示实验室可能存在问题。要求采取的措施取决于设备性能的历史。当增加监测频率，或者通过新的直接和间接校验进行纠正时，此时操作应小心。

表 A2.6 标定设备的最大允许再现性和误差

仲裁试块硬度 HBW	最大允许再现性, R — d 的 % (见等式 3)	最大允许误差, E H 的 %
HBW ≤ 125	2	2
125 < HBW ≤ 225	2	2
HBW > 225	1.5	1.5

A2.8 校验报告

A2.8.1 直接校验

A2.8.1.1 按本 ASTM 试验方法的证明书

A2.8.1.2 硬度标定设备的标识，包括序列号，制造商和型号。

A2.8.1.3 所有用于校验的设备（弹性检验设备等）标识，包括序列号，可追溯的制造标准标识。

A2.8.1.4 校验时的试验温度，温度报告时分辨率至少为 1°C。

A2.8.1.5 用于确定标定设备是否满足校验要求的各个测量值和计算结果。建议也应报告用于确定标定设备是否满足校验要求的计算结果的不确定性数值。

A2.8.1.6 标定设备进行过的调节或维护描述，当适用时。

A2.8.1.7 校验日期和校验机构或部门的证明书

A2.8.1.8 校验执行人员签名**A2.8.1.9 授权证书编号****A2.8.2 间接校验****A2.8.2.1 按本 ASTM 试验方法的证明书****A2.8.2.2 标定设备的标识, 包括序列号, 制造商和型号。****A2.8.2.3 所有用于校验的设备(试块、压头等)标识, 包括序列号, 可追溯的制造标准标识。****A2.8.2.4 校验时的试验温度, 温度报告时分辨率至少为 1°C。****A2.8.2.5 校验的布氏硬度刻度。**

A2.8.2.6 用于确定标定设备是否满足校验要求的各个测量值和计算结果。任何时候测定标定设备的已知状态时, 应包括用于测定标定设备已知状态的测量值。建议也应报告用于确定标定设备是否满足校验要求的计算结果的不确定性数值。

A2.8.2.7 标定设备进行过的材料描述, 当适用时。**A2.8.2.8 校验日期和校验机构或部门的证明书****A2.8.2.9 校验执行人员签名****A2.8.2.10 授权证书编号****A2.8.3 监测校验**

A2.8.3.1 校验报告不作要求。然而, 要求保留监测校验结果的记录, 见 A2.7.5。

A3. 布氏硬度压头的标定**A3.1 范围**

A3.1.1 附录 A3 规定了布氏硬度压头球的要求。本附录包含所有布氏硬度刻度使用的布氏硬质合金球压头。

A3.2 资质

A3.2.1 压头标定的执行机构应为通过 ISO 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, 说明授权证书包含的压头等级和类型。

注 A3.1—从本标准的本版本开始, 授权证书是一个新要求。

A3.3 通用要求

A3.3.1 标准压头为四种规定直径 (10mm、5mm、2.5mm 和 1mm) 的硬质合金球, 这些标准压头可用于表 3 给出的布氏硬度刻度。

A3.3.2 当存在追溯性体系时, 所有要求按本附录执行测量的设备应按可追溯的国家标准进行校准, 除非另有规定。

A3.3.3 球压头通常包含一个固定架、一个保护套和一个球。假如球满足本章节的所有要求，可以更换球而不会影响装置的校验。

A3.4 压头球

A3.4.1 压头球可以校验几何形状、硬度、密度和化学成分是否准确，校验周期按表 3.1 的规定。

A3.4.2 当按 ASTM E92 在球的球面测量时，球的硬度应不小于 1500 HV10；或者当按 ASTM E92 或使用方法 E384 在剖开球的平面测量时，球的硬度应不小于 1500 HV1。当在球的球面测试时，由于 ASTM E92 规定为曲面，硬度结果必须进行修正。

A3.4.3 球的材料密度应为 $14.8 \pm 0.2 \text{g/cm}^3$ ，同时材料化学成分如下：

所有其它碳化物	最大值 2.0%
钴 (Co)	5.0~7.0%
碳化钨 (WC)	剩余

A3.4.4 当在不少于三个位置处测量直径时，直径测量值与公称直径的差值应不大于表 A3.2 给出的公差值。

A3.4.5 球的平面表面粗糙度应不超过 0.00005mm ($2 \mu\text{in}$)。

注 A3.2—ABMA 等级 24 的球满足 ABMA 标准 10-1989 规定的尺寸和表面粗糙度要求。

A3.4.6 为校验球的密度、尺寸、表面粗糙度和硬度，应从某一炉批随机抽取一个样本进行充分得测试。应丢弃已经校验过硬度的球。

A3.4.7 为满足压头球的上述要求，标定实验室可校验球是否满足要求，或者从球制造商处获得校验证书。

A3.5 合格证

A3.5.1 每个压头球至少应有一份含有以下信息的试验合格证。

A3.5.1.1 参阅本 ASTM 试验方法

A3.5.1.2 批次或炉批的标识

A3.5.1.3 日期

A3.5.1.4 一份说明表明布氏硬度压头满足几何形状、密度和硬度要求。

A3.5.1.5 授权证书编号

表 A3.1 压头球校验周期

校验	周期
几何特征、密度、化学成分和硬度	当压头为新压头时。

表 A3.2 压头球的直径公差

球直径 mm	mm
10	±0.005
5	±0.004
2.5	±0.003
1	±0.003

A4. 布氏硬度试块的标定

A4.1 范围

A4.1.1 附录 A4 规定了布氏硬度试块标定的要求和程序。这些标定试块将用于布氏硬度试验机性能的校验，校验时可采用附录 A1 所述的日常校验和间接校验方法。标定试块也将可用于附录 A2 所述的布氏标定设备的监测校验。

A4.2 资质

A4.2.1 试块标定的执行机构应为通过 ISO 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布氏硬度刻度和试块标定可追溯的标准。

注 A4.1—从本标准的本版本开始，授权证书是一个新要求。

A4.3 制造

A4.3.1 试块制造商专注于满足材料使用和加工工艺的需求，制造商将给出必要的结构同质性和稳定性，表面硬度均匀性信息。

A4.3.2 试块，如果采用钢材料制造而成，应在制造工序结束后进行退磁处理。

A4.3.3 标定之后，为确保材料不会从试验表面消除，应在试验表面做一个识别标记。通过任何方法应不能去除标记，除非去除试块材料。

A4.3.4 标定试块应满足表 A4.1 的物理要求。

表 A4.1 标定试块的物理要求

试块参数	范围
厚度	≥16.0mm(适用于 10mm 球试验) ≥12.0mm(适用于 5mm 球试验) ≥6.0mm(适用于较小直径球试验)
测试表面积	≤150cm ² (适用于直径≥5mm 球试验) ≤40cm ² (适用于直径<5mm 球试验)
表面直线度偏差（底部测试）	≤0.02cm(适用于直径≥5mm 球试验) ≤0.005cm(适用于直径<5mm 球试验)
表面平行度偏差（底部测试）	≤0.0008mm/mm(适用于直径≥5mm 球试验) ≤0.0002mm/mm(适用于直径<5mm 球试验)
试验表面平均粗糙度	≤0.0003mmR _a (适用于 10mm 球试验) ≤0.00015mmR _a (适用于较小直径球试验)

A4.4 通用要求

A4.4.1 标定实验室环境、标定设备和标定试验周期应满足附录 A2 的要求。

A4.4.2 当存在追溯性体系时，所有按本附录要求执行测量所采用的设备应已经校准至国家标准，除非另有规定。

A4.5 标定程序

A4.5.1 试块通过试验表面的平均硬度校准进行标定。应只校准试块的某一个表面。试块可追溯的布氏硬度标准应在合格证中说明。

A4.5.2 标定程序涉及通过使用与硬度刻度相关的力和压头类型在试块表面执行硬度试验。在试验表面均匀分布位置至少执行五次硬度试验。

A4.5.3 计算每个压痕的平均直径（按等式 5）和直径算术平均值 \bar{d} （按等式 6）。

A4.5.4 确定测量值的范围 d_R ：

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

其中：

d_{\max} 表示压痕测量的最大平均直径；

d_{\min} 表示压痕测量的最小平均直径。

A4.5.4.1 范围 d_R 提供了一种试块硬度的不均匀性表示方法。为满足接收要求，范围 d_R 应在表 A4.2 的公差之内。

A4.5.5 试块的标定值定义为标定测量值 \bar{H} 的平均值（等式 3）。

A4.5.6 仲裁压痕—除了校准试验表面的平均硬度之外，应校验一个或更多的校准压痕以用于直径测量，校准过的压痕也就是熟悉的仲裁压痕。仲裁压痕测量将作为间接校验和日常校验的一部分。

A4.6 标记

A4.6.1 当校准过的试验表面为上表面时，标记应位于试块侧面垂直位置。

表 A4.2 标定试块的最大不均匀性

仲裁试块硬度 HBW	最大范围, d_R \bar{d} % \bar{d} (见等式 A4.1)
HBW ≤ 225	2
HBW > 225	1

A4.6.2 每个标定试块应标记以下信息：

A4.6.2.1 试块的标定硬度值 \bar{H} 应按规程 E29 圆整到几乎等于 3 位有效数字，例如 125HBW、99HBW 或 99.2HBW。

A4.6.2.2 仲裁压痕的标识

A4.6.2.3 试验表面识别标记，如果表面进行了重新磨光，将可以去除标记。

A4.6.2.4 唯一的序列号

A4.6.2.5 标定年限。标定年限应包含在试块的序列号中。

A4.7 合格证

A4.7.1 每个标定试块至少应附有一个来自标定实验室的合格证，合格证包含以下标定信息：

A4.7.1.1 参考本 ASTM 试验方法。

A4.7.1.2 试块的序列号。

A4.7.1.3 各个标定试验的结果，包括：

(1) N 个压痕的平均直径 d_1, d_2, \dots, d_n 。

(2) 平均直径 d 的平均值（见等式 A4.1）

(3) 计算硬度值 H_1, H_2, \dots, H_n 。

(4) 平均硬度值 \bar{H} 按规程 E29 圆整到三位有效数字，例如 125HBW，99.2HBW。

A4.7.1.4 仲裁压痕位置、测量直径取向和仲裁压痕直径的鉴定值相关信息（见 A4.5.6）

A4.7.1.5 保留的布氏硬度刻度校准所用试块的可追溯证明

A4.7.1.6 标定日期

A4.7.1.7 授权机构合格证编号

附录

(非强制性信息)

X1. 布氏硬度数值表

表 X1.1 布氏硬度值

注—布氏硬度数值表给出的数值仅用于布氏硬度等式求解，同时包括推荐范围之外的压痕直径值。这些数值用斜体字表示。

压痕直径, d(mm)				布氏硬度值						
10 mm 钢球	5 mm 钢球	2.5 mm 钢球	1 mm 钢球	HBW 10/3000 HBW 5/750 HBW 2.5/187.5 HRR 1/30	HBW 10/1500	HBW 10/1000 HBW 5/250 HBW 2.5/62.5 HRR 1/10	HBW 10/500 HBW 5/125 HBW 2.5/31.25 HRR 1/5	HBW 10/250 HBW 5/62.5 HBW 2.5/15.625 HRR 1/2	HBW 10/125 HBW 5/31.25 HBW 2.5/7.8125 HRR 1/1.25	HBW 10/100 HBW 5/25 HRR 1/1
2.00	1.000	0.5000	0.200	045	77	375	158	78.8	39.4	31.5
2.01	1.005	0.5025	0.201	436	779	379	158	79.0	39.0	31.2
2.02	1.010	0.5050	0.202	436	780	380	157	79.2	38.9	30.9
2.03	1.015	0.5075	0.203	437	781	381	157	79.4	38.8	30.6
2.04	1.020	0.5100	0.204	438	782	382	157	79.6	38.7	30.3
2.05	1.025	0.5125	0.205	439	783	383	157	79.8	38.6	30.0
2.06	1.030	0.5150	0.206	440	784	384	157	80.0	38.5	29.7
2.07	1.035	0.5175	0.207	441	785	385	157	80.2	38.4	29.4
2.08	1.040	0.5200	0.208	442	786	386	157	80.4	38.3	29.1
2.09	1.045	0.5225	0.209	443	787	387	157	80.6	38.2	28.8
2.10	1.050	0.5250	0.210	444	788	388	157	80.8	38.1	28.5
2.11	1.055	0.5275	0.211	445	789	389	157	81.0	38.0	28.2
2.12	1.060	0.5300	0.212	446	790	390	157	81.2	37.9	27.9
2.13	1.065	0.5325	0.213	447	791	391	157	81.4	37.8	27.6
2.14	1.070	0.5350	0.214	448	792	392	157	81.6	37.7	27.3
2.15	1.075	0.5375	0.215	449	793	393	157	81.8	37.6	27.0
2.16	1.080	0.5400	0.216	450	794	394	157	82.0	37.5	26.7
2.17	1.085	0.5425	0.217	451	795	395	157	82.2	37.4	26.4
2.18	1.090	0.5450	0.218	452	796	396	157	82.4	37.3	26.1
2.19	1.095	0.5475	0.219	453	797	397	157	82.6	37.2	25.8
2.20	1.100	0.5500	0.220	454	798	398	157	82.8	37.1	25.5
2.21	1.105	0.5525	0.221	455	799	399	157	83.0	37.0	25.2
2.22	1.110	0.5550	0.222	456	800	400	157	83.2	36.9	24.9
2.23	1.115	0.5575	0.223	457	801	401	157	83.4	36.8	24.6
2.24	1.120	0.5600	0.224	458	802	402	157	83.6	36.7	24.3
2.25	1.125	0.5625	0.225	459	803	403	157	83.8	36.6	24.0
2.26	1.130	0.5650	0.226	460	804	404	157	84.0	36.5	23.7
2.27	1.135	0.5675	0.227	461	805	405	157	84.2	36.4	23.4
2.28	1.140	0.5700	0.228	462	806	406	157	84.4	36.3	23.1
2.29	1.145	0.5725	0.229	463	807	407	157	84.6	36.2	22.8
2.30	1.150	0.5750	0.230	464	808	408	157	84.8	36.1	22.5
2.31	1.155	0.5775	0.231	465	809	409	157	85.0	36.0	22.2
2.32	1.160	0.5800	0.232	466	810	410	157	85.2	35.9	21.9
2.33	1.165	0.5825	0.233	467	811	411	157	85.4	35.8	21.6
2.34	1.170	0.5850	0.234	468	812	412	157	85.6	35.7	21.3
2.35	1.175	0.5875	0.235	469	813	413	157	85.8	35.6	21.0
2.36	1.180	0.5900	0.236	470	814	414	157	86.0	35.5	20.7
2.37	1.185	0.5925	0.237	471	815	415	157	86.2	35.4	20.4
2.38	1.190	0.5950	0.238	472	816	416	157	86.4	35.3	20.1
2.39	1.195	0.5975	0.239	473	817	417	157	86.6	35.2	19.8
2.40	1.200	0.6000	0.240	474	818	418	157	86.8	35.1	19.5
2.41	1.205	0.6025	0.241	475	819	419	157	87.0	35.0	19.2
2.42	1.210	0.6050	0.242	476	820	420	157	87.2	34.9	18.9
2.43	1.215	0.6075	0.243	477	821	421	157	87.4	34.8	18.6
2.44	1.220	0.6100	0.244	478	822	422	157	87.6	34.7	18.3
2.45	1.225	0.6125	0.245	479	823	423	157	87.8	34.6	18.0
2.46	1.230	0.6150	0.246	480	824	424	157	88.0	34.5	17.7
2.47	1.235	0.6175	0.247	481	825	425	157	88.2	34.4	17.4
2.48	1.240	0.6200	0.248	482	826	426	157	88.4	34.3	17.1
2.49	1.245	0.6225	0.249	483	827	427	157	88.6	34.2	16.8
2.50	1.250	0.6250	0.250	484	828	428	157	88.8	34.1	16.5

表 X1.1 (续)

压痕直径, d (mm)				布氏硬度数							
10 mm 钢球	5 mm 钢球	2.5 mm 钢球	1 mm 钢球	HBW 10/3000 HBW 5/750 HBW 2.5/317.5 HBW 1/90	HBW 10/1500	HBW 10/1000 HBW 5/250 HBW 2.5/62.5 HBW 1/10	HBW 10/500 HBW 5/125 HBW 2.5/31.25 HBW 1/5	HBW 10/250 HBW 5/62.5 HBW 2.5/15.625 HBW 1/2	HBW 10/125 HBW 5/31.25 HBW 2.5/7.8125 HBW 1/1	HBW 10/100 HBW 5/25 HBW 2.5/6.25 HBW 1/1	
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	597	298	197	99.6	49.3	24.7	19.7	
2.53	1.265	0.6325	0.253	597	294	196	97.8	48.9	24.5	19.6	
2.54	1.270	0.6350	0.254	597	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	559	280	187	93.3	46.6	23.3	18.7	
2.60	1.300	0.6500	0.260	555	278	185	92.6	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	258	173	86.3	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	
2.75	1.375	0.6875	0.275	495	248	165	82.5	41.3	20.6	16.5	
2.76	1.380	0.6900	0.276	492	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	77.8	39.0	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	225	150	75.1	37.6	18.8	15.0	
2.89	1.445	0.7225	0.289	448	224	149	74.6	37.3	18.6	14.9	
2.90	1.450	0.7250	0.290	444	222	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	215	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	70.0	35.0	17.5	14.0	
2.99	1.495	0.7475	0.299	417	209	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	206	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	365	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	

表 X1.1 (续)

压痕直径, d (mm)				布氏硬度数								
10 mm 钢球	5 mm 钢球	2.5 mm 钢球	1 mm 钢球	HBW 10/3000 HBW 5/750 HBW 2.5/187.5 HBW 1/30	HBW 10/1500	HBW 10/1000	HBW 10/500	HBW 10/250	HBW 10/125	HBW 10/100		
3.21	1.605	0.8025	0.391	361	190	120	60.1	30.1	15.0	12.0		
3.22	1.610	0.8050	0.392	359	179	120	59.8	29.9	14.9	12.0		
3.23	1.615	0.8075	0.393	356	174	119	59.4	29.7	14.8	11.9		
3.24	1.620	0.8100	0.394	354	177	118	59.0	29.5	14.8	11.9		
3.25	1.625	0.8125	0.395	352	176	117	58.8	29.3	14.7	11.7		
3.26	1.630	0.8150	0.396	350	175	117	58.6	29.1	14.6	11.7		
3.27	1.635	0.8175	0.397	347	174	116	57.9	29.0	14.5	11.6		
3.28	1.640	0.8200	0.398	345	173	115	57.5	28.8	14.4	11.5		
3.29	1.645	0.8225	0.399	343	172	114	57.2	28.6	14.3	11.4		
3.30	1.650	0.8250	0.399	341	170	114	56.8	28.4	14.2	11.4		
3.31	1.655	0.8275	0.401	339	169	113	56.5	28.2	14.1	11.3		
3.32	1.660	0.8300	0.402	337	168	112	56.1	28.1	14.0	11.2		
3.33	1.665	0.8325	0.403	335	167	112	55.8	27.9	13.9	11.2		
3.34	1.670	0.8350	0.404	333	166	111	55.4	27.7	13.9	11.1		
3.35	1.675	0.8375	0.405	331	165	110	55.1	27.5	13.8	11.0		
3.36	1.680	0.8400	0.406	329	164	110	54.8	27.4	13.7	11.0		
3.37	1.685	0.8425	0.407	326	163	109	54.4	27.2	13.6	10.9		
3.38	1.690	0.8450	0.408	325	162	108	54.1	27.0	13.5	10.8		
3.39	1.695	0.8475	0.409	323	161	108	53.8	26.9	13.4	10.8		
3.40	1.700	0.8500	0.410	321	160	107	53.4	26.7	13.4	10.7		
3.41	1.705	0.8525	0.411	319	159	106	53.1	26.6	13.3	10.6		
3.42	1.710	0.8550	0.412	317	158	106	52.8	26.4	13.2	10.6		
3.43	1.715	0.8575	0.413	315	157	105	52.5	26.2	13.1	10.5		
3.44	1.720	0.8600	0.414	313	156	104	52.2	26.1	13.0	10.4		
3.45	1.725	0.8625	0.415	311	156	104	51.8	25.9	13.0	10.4		
3.46	1.730	0.8650	0.416	309	155	103	51.5	25.8	12.9	10.3		
3.47	1.735	0.8675	0.417	307	154	102	51.2	25.6	12.9	10.2		
3.48	1.740	0.8700	0.418	306	153	102	50.9	25.5	12.7	10.2		
3.49	1.745	0.8725	0.419	304	152	101	50.6	25.3	12.7	10.1		
3.50	1.750	0.8750	0.420	302	151	101	50.3	25.2	12.6	10.1		
3.51	1.755	0.8775	0.421	300	150	100	50.0	25.0	12.5	10.0		
3.52	1.760	0.8800	0.422	298	149	99.5	49.7	24.9	12.4	9.95		
3.53	1.765	0.8825	0.423	297	148	98.9	49.4	24.7	12.4	9.98		
3.54	1.770	0.8850	0.424	295	147	98.3	49.2	24.6	12.3	9.93		
3.55	1.775	0.8875	0.425	293	147	97.7	48.9	24.4	12.2	9.97		
3.56	1.780	0.8900	0.426	292	146	97.2	48.6	24.3	12.1	9.92		
3.57	1.785	0.8925	0.427	290	145	96.6	48.3	24.2	12.1	9.95		
3.58	1.790	0.8950	0.428	288	144	96.1	48.0	24.0	12.0	9.91		
3.59	1.795	0.8975	0.429	286	143	95.5	47.7	23.9	11.9	9.95		
3.60	1.800	0.9000	0.430	285	142	95.0	47.5	23.7	11.9	9.98		
3.61	1.805	0.9025	0.431	283	142	94.4	47.2	23.6	11.8	9.94		
3.62	1.810	0.9050	0.432	282	141	93.9	46.9	23.5	11.7	9.98		
3.63	1.815	0.9075	0.433	280	140	93.3	46.7	23.3	11.7	9.93		
3.64	1.820	0.9100	0.434	278	139	92.8	46.4	23.2	11.6	9.98		
3.65	1.825	0.9125	0.435	277	138	92.3	46.1	23.1	11.5	9.93		
3.66	1.830	0.9150	0.436	275	138	91.8	45.9	22.9	11.5	9.98		
3.67	1.835	0.9175	0.437	274	137	91.2	45.6	22.8	11.4	9.92		
3.68	1.840	0.9200	0.438	272	136	90.7	45.4	22.7	11.3	9.97		
3.69	1.845	0.9225	0.439	271	135	90.2	45.1	22.6	11.3	9.92		
3.70	1.850	0.9250	0.439	269	135	89.7	44.9	22.4	11.2	9.97		
3.71	1.855	0.9275	0.441	268	134	89.2	44.6	22.3	11.2	9.92		
3.72	1.860	0.9300	0.442	266	134	88.7	44.4	22.2	11.1	9.97		
3.73	1.865	0.9325	0.443	265	132	88.2	44.1	22.1	11.0	9.92		
3.74	1.870	0.9350	0.444	263	132	87.7	43.9	21.9	11.0	9.97		
3.75	1.875	0.9375	0.445	262	131	87.2	43.6	21.8	10.9	9.92		
3.76	1.880	0.9400	0.446	260	130	86.6	43.4	21.7	10.8	9.97		
3.77	1.885	0.9425	0.447	259	129	86.3	43.1	21.6	10.8	9.92		
3.78	1.890	0.9450	0.448	257	129	85.8	42.9	21.5	10.7	9.97		
3.79	1.895	0.9475	0.449	256	128	85.3	42.7	21.3	10.7	9.92		
3.80	1.900	0.9500	0.450	255	127	84.9	42.4	21.2	10.6	9.97		
3.81	1.905	0.9525	0.451	253	127	84.4	42.2	21.1	10.6	9.92		
3.82	1.910	0.9550	0.452	252	126	83.9	42.0	21.0	10.5	9.97		
3.83	1.915	0.9575	0.453	250	125	83.5	41.7	20.9	10.4	9.92		
3.84	1.920	0.9600	0.454	249	125	83.0	41.5	20.8	10.4	9.97		
3.85	1.925	0.9625	0.455	248	124	82.5	41.3	20.6	10.3	9.92		
3.86	1.930	0.9650	0.456	246	124	82.1	41.1	20.5	10.3	9.97		
3.87	1.935	0.9675	0.457	245	123	81.7	40.9	20.4	10.2	9.92		
3.88	1.940	0.9700	0.458	244	122	81.3	40.6	20.3	10.2	9.87		
3.89	1.945	0.9725	0.459	242	121	80.8	40.4	20.2	10.1	9.92		
3.90	1.950	0.9750	0.460	241	121	80.4	40.2	20.1	10.0	9.87		

表 X1.1 (续)

压痕直径, d(mm)				布氏硬度数						
10 mm 钢球	5 mm 钢球	2.5 mm 钢球	1 mm 钢球	HBW 10/3000 HBW 5/750 HBW 2.5/187.5 HBW 1/30	HBW 10/1500	HBW 10/1000 HBW 5/250 HBW 2.5/62.5 HBW 1/10	HBW 10/500 HBW 5/125 HBW 2.5/31.25 HBW 1/5	HBW 10/250 HBW 5/62.5 HBW 2.5/15.625 HBW 1/2	HBW 10/125 HBW 5/31.25 HBW 2.5/7.8125 HBW 1/1.25	HBW 10/100 HBW 5/25 HBW 2.5/6.25 HBW 1/1
3.01	1.505	0.7525	0.381	240	120	80.0	40.0	20.0	10.0	8.00
3.02	1.509	0.7545	0.382	259	119	79.5	39.5	19.5	9.94	7.99
3.03	1.513	0.7565	0.383	267	119	79.1	39.8	19.8	9.89	7.91
3.04	1.517	0.7585	0.384	268	118	78.7	39.4	19.7	9.84	7.87
3.05	1.521	0.7605	0.385	265	117	78.3	39.1	19.6	9.79	7.83
3.06	1.525	0.7625	0.386	264	117	77.9	38.9	19.5	9.73	7.79
3.07	1.529	0.7645	0.387	262	116	77.5	38.7	19.4	9.68	7.75
3.08	1.533	0.7665	0.388	261	116	77.1	38.5	19.3	9.63	7.71
3.09	1.537	0.7685	0.389	260	115	76.7	38.3	19.2	9.58	7.67
3.10	1.541	0.7705	0.390	259	114	76.3	38.1	19.1	9.53	7.63
3.11	1.545	0.7725	0.391	258	114	75.9	37.9	19.0	9.48	7.59
3.12	1.549	0.7745	0.392	256	113	75.5	37.7	18.9	9.43	7.55
3.13	1.553	0.7765	0.393	255	113	75.1	37.5	18.8	9.38	7.51
3.14	1.557	0.7785	0.394	254	112	74.7	37.4	18.7	9.34	7.47
3.15	1.561	0.7805	0.395	252	111	74.3	37.1	18.6	9.29	7.44
3.16	1.565	0.7825	0.396	251	111	73.9	36.8	18.5	9.24	7.40
3.17	1.569	0.7845	0.397	251	110	73.5	36.8	18.4	9.19	7.36
3.18	1.573	0.7865	0.398	249	110	73.2	36.6	18.3	9.14	7.32
3.19	1.577	0.7885	0.399	248	109	72.8	36.4	18.2	9.10	7.28
3.20	1.581	0.7905	0.400	247	109	72.4	36.2	18.1	9.05	7.24
3.21	1.585	0.7925	0.401	246	108	72.0	36.0	18.0	9.01	7.20
3.22	1.589	0.7945	0.402	245	108	71.7	35.8	17.9	8.96	7.17
3.23	1.593	0.7965	0.403	244	107	71.3	35.7	17.8	8.91	7.13
3.24	1.597	0.7985	0.404	243	107	71.0	35.5	17.7	8.87	7.10
3.25	1.601	0.7995	0.405	242	106	70.6	35.3	17.6	8.82	7.06
3.26	1.605	0.8015	0.406	241	105	70.2	35.1	17.6	8.78	7.02
3.27	1.609	0.8035	0.407	240	105	69.9	34.9	17.5	8.74	6.99
3.28	1.613	0.8055	0.408	239	104	69.5	34.8	17.4	8.69	6.95
3.29	1.617	0.8075	0.409	238	104	69.2	34.6	17.3	8.65	6.92
3.30	1.621	0.8095	0.410	237	103	68.8	34.4	17.2	8.61	6.88
3.31	1.625	0.8115	0.411	236	103	68.5	34.2	17.1	8.56	6.85
3.32	1.629	0.8135	0.412	234	102	68.2	34.1	17.0	8.52	6.82
3.33	1.633	0.8155	0.413	233	102	67.8	33.9	17.0	8.48	6.78
3.34	1.637	0.8175	0.414	232	101	67.5	33.7	16.9	8.44	6.75
3.35	1.641	0.8195	0.415	231	101	67.1	33.6	16.8	8.39	6.71
3.36	1.645	0.8215	0.416	230	100	66.8	33.4	16.7	8.35	6.68
3.37	1.649	0.8235	0.417	229	100	66.5	33.2	16.6	8.31	6.65
3.38	1.653	0.8255	0.418	228	99.2	66.2	33.1	16.5	8.27	6.62
3.39	1.657	0.8275	0.419	227	98.8	65.8	32.9	16.5	8.23	6.58
3.40	1.661	0.8295	0.420	226	98.3	65.5	32.8	16.4	8.19	6.55
3.41	1.665	0.8315	0.421	225	97.8	65.2	32.6	16.3	8.15	6.52
3.42	1.669	0.8335	0.422	224	97.3	64.9	32.4	16.2	8.11	6.49
3.43	1.673	0.8355	0.423	223	96.8	64.6	32.3	16.1	8.07	6.46
3.44	1.677	0.8375	0.424	222	96.4	64.2	32.1	16.1	8.03	6.42
3.45	1.681	0.8395	0.425	221	95.9	63.9	32.0	16.0	7.99	6.39
3.46	1.685	0.8415	0.426	220	95.4	63.6	31.8	15.9	7.95	6.36
3.47	1.689	0.8435	0.427	219	95.0	63.3	31.7	15.8	7.92	6.33
3.48	1.693	0.8455	0.428	218	94.5	63.0	31.5	15.8	7.88	6.30
3.49	1.697	0.8475	0.429	217	94.1	62.7	31.4	15.7	7.84	6.27
3.50	1.701	0.8495	0.430	216	93.6	62.4	31.2	15.6	7.80	6.24
3.51	1.705	0.8515	0.431	215	93.2	62.1	31.1	15.5	7.76	6.21
3.52	1.709	0.8535	0.432	214	92.7	61.8	30.9	15.5	7.73	6.18
3.53	1.713	0.8555	0.433	213	92.3	61.5	30.8	15.4	7.69	6.15
3.54	1.717	0.8575	0.434	212	91.8	61.2	30.6	15.3	7.65	6.12
3.55	1.721	0.8595	0.435	211	91.4	60.9	30.5	15.2	7.62	6.09
3.56	1.725	0.8615	0.436	210	90.9	60.6	30.3	15.2	7.58	6.06
3.57	1.729	0.8635	0.437	209	90.5	60.4	30.2	15.1	7.55	6.04
3.58	1.733	0.8655	0.438	208	90.1	60.1	30.0	15.0	7.51	6.01
3.59	1.737	0.8675	0.439	207	89.7	59.8	29.9	14.9	7.47	5.98
3.60	1.741	0.8695	0.440	206	89.3	59.5	29.8	14.8	7.44	5.95
3.61	1.745	0.8715	0.441	205	88.8	59.2	29.6	14.8	7.40	5.92
3.62	1.749	0.8735	0.442	204	88.4	59.0	29.5	14.7	7.37	5.89
3.63	1.753	0.8755	0.443	203	88.0	58.7	29.3	14.7	7.34	5.87
3.64	1.757	0.8775	0.444	202	87.5	58.4	29.2	14.6	7.30	5.84
3.65	1.761	0.8795	0.445	201	87.2	58.1	29.1	14.5	7.27	5.81
3.66	1.765	0.8815	0.446	200	86.8	57.9	28.9	14.5	7.23	5.79
3.67	1.769	0.8835	0.447	199	86.4	57.6	28.8	14.4	7.20	5.76
3.68	1.773	0.8855	0.448	198	86.0	57.3	28.7	14.3	7.17	5.73
3.69	1.777	0.8875	0.449	197	85.6	57.1	28.5	14.3	7.13	5.71
3.70	1.781	0.8895	0.450	196	85.2	56.8	28.4	14.2	7.10	5.68

表 X1.1 (续)

压痕直径, d(mm)				布氏硬度数						
10 mm 钢球	5 mm 钢球	2.5 mm 钢球	1 mm 钢球	HBW 10/3000 HBW 5/750 HBW 2.5/187.5 HBW 1/30	HBW 10/1500	HBW 10/1000 HBW 5/250 HBW 2.5/62.5 HBW 1/10	HBW 10/500 HBW 5/125 HBW 2.5/31.25 HBW 1/5	HBW 10/250 HBW 5/62.5 HBW 2.5/15.625 HBW 1/2	HBW 10/125 HBW 5/31.25 HBW 2.5/7.8125 HBW 1/1.25	HBW 10/100 HBW 5/25 HBW 2.5/6.25 HBW 1/1
4.61	2.305	1.1525	0.461	170	84.8	56.5	28.3	14.1	7.07	3.53
4.62	2.310	1.1550	0.462	169	84.4	56.3	28.1	14.1	7.03	3.53
4.63	2.315	1.1575	0.463	168	84.0	56.0	28.0	14.0	7.00	3.50
4.64	2.320	1.1600	0.464	167	83.6	55.8	27.9	13.9	6.97	3.51
4.65	2.325	1.1625	0.465	167	83.3	55.6	27.8	13.9	6.94	3.51
4.66	2.330	1.1650	0.466	166	82.9	55.3	27.6	13.8	6.91	3.51
4.67	2.335	1.1675	0.467	165	82.5	55.0	27.5	13.8	6.88	3.50
4.68	2.340	1.1700	0.468	164	82.1	54.8	27.4	13.7	6.84	3.48
4.69	2.345	1.1725	0.469	164	81.8	54.5	27.3	13.6	6.81	3.45
4.70	2.350	1.1750	0.470	163	81.4	54.3	27.1	13.6	6.78	3.43
4.71	2.355	1.1775	0.471	162	81.0	54.0	27.0	13.5	6.75	3.40
4.72	2.360	1.1800	0.472	161	80.7	53.8	26.9	13.4	6.72	3.38
4.73	2.365	1.1825	0.473	161	80.3	53.5	26.8	13.4	6.69	3.35
4.74	2.370	1.1850	0.474	160	79.9	53.3	26.6	13.3	6.66	3.35
4.75	2.375	1.1875	0.475	159	79.6	53.0	26.5	13.3	6.63	3.30
4.76	2.380	1.1900	0.476	158	79.2	52.8	26.4	13.2	6.60	3.28
4.77	2.385	1.1925	0.477	158	78.9	52.6	26.3	13.1	6.57	3.26
4.78	2.390	1.1950	0.478	157	78.5	52.3	26.2	13.1	6.54	3.23
4.79	2.395	1.1975	0.479	156	78.2	52.1	26.1	13.0	6.51	3.21
4.80	2.400	1.2000	0.480	156	77.8	51.9	25.9	13.0	6.48	3.19
4.81	2.405	1.2025	0.481	155	77.5	51.6	25.8	12.9	6.46	3.18
4.82	2.410	1.2050	0.482	154	77.1	51.4	25.7	12.9	6.43	3.14
4.83	2.415	1.2075	0.483	154	76.8	51.2	25.6	12.8	6.40	3.12
4.84	2.420	1.2100	0.484	153	76.4	51.0	25.5	12.7	6.37	3.10
4.85	2.425	1.2125	0.485	152	76.1	50.7	25.4	12.7	6.34	3.07
4.86	2.430	1.2150	0.486	152	75.8	50.5	25.3	12.6	6.31	3.05
4.87	2.435	1.2175	0.487	151	75.4	50.3	25.2	12.6	6.29	3.03
4.88	2.440	1.2200	0.488	150	75.1	50.1	25.1	12.5	6.26	3.01
4.89	2.445	1.2225	0.489	150	74.8	49.8	25.0	12.5	6.23	2.98
4.90	2.450	1.2250	0.490	149	74.4	49.6	24.8	12.4	6.20	2.96
4.91	2.455	1.2275	0.491	148	74.1	49.4	24.7	12.4	6.18	2.94
4.92	2.460	1.2300	0.492	148	73.8	49.2	24.6	12.3	6.15	2.92
4.93	2.465	1.2325	0.493	147	73.5	49.0	24.5	12.2	6.12	2.90
4.94	2.470	1.2350	0.494	146	73.2	48.8	24.4	12.2	6.10	2.88
4.95	2.475	1.2375	0.495	146	72.9	48.6	24.3	12.1	6.07	2.86
4.96	2.480	1.2400	0.496	145	72.5	48.3	24.2	12.1	6.04	2.83
4.97	2.485	1.2425	0.497	144	72.2	48.1	24.1	12.0	6.02	2.81
4.98	2.490	1.2450	0.498	144	71.9	47.9	24.0	12.0	6.00	2.79
4.99	2.495	1.2475	0.499	143	71.6	47.7	23.9	11.9	5.97	2.77
5.00	2.500	1.2500	0.500	143	71.3	47.5	23.8	11.9	5.94	2.74
5.01	2.505	1.2525	0.501	142	71.0	47.3	23.7	11.8	5.91	2.73
5.02	2.510	1.2550	0.502	141	70.7	47.1	23.6	11.8	5.89	2.71
5.03	2.515	1.2575	0.503	141	70.4	46.9	23.5	11.7	5.86	2.69
5.04	2.520	1.2600	0.504	140	70.1	46.7	23.4	11.7	5.84	2.67
5.05	2.525	1.2625	0.505	140	69.8	46.5	23.3	11.6	5.81	2.65
5.06	2.530	1.2650	0.506	139	69.5	46.3	23.2	11.6	5.79	2.63
5.07	2.535	1.2675	0.507	138	69.2	46.1	23.1	11.5	5.76	2.61
5.08	2.540	1.2700	0.508	138	68.9	45.9	23.0	11.5	5.74	2.59
5.09	2.545	1.2725	0.509	137	68.6	45.7	22.9	11.4	5.72	2.57
5.10	2.550	1.2750	0.510	137	68.3	45.5	22.8	11.4	5.69	2.55
5.11	2.555	1.2775	0.511	136	68.0	45.3	22.7	11.3	5.67	2.53
5.12	2.560	1.2800	0.512	135	67.7	45.1	22.6	11.3	5.64	2.51
5.13	2.565	1.2825	0.513	135	67.4	45.0	22.5	11.2	5.62	2.50
5.14	2.570	1.2850	0.514	134	67.1	44.8	22.4	11.2	5.60	2.48
5.15	2.575	1.2875	0.515	134	66.8	44.6	22.3	11.1	5.57	2.46
5.16	2.580	1.2900	0.516	133	66.6	44.4	22.2	11.1	5.55	2.44
5.17	2.585	1.2925	0.517	133	66.3	44.2	22.1	11.1	5.53	2.42
5.18	2.590	1.2950	0.518	132	66.0	44.0	22.0	11.0	5.50	2.40
5.19	2.595	1.2975	0.519	132	65.8	43.8	21.9	11.0	5.48	2.38
5.20	2.600	1.3000	0.520	131	65.5	43.7	21.8	10.9	5.46	2.37
5.21	2.605	1.3025	0.521	130	65.2	43.5	21.7	10.9	5.43	2.35
5.22	2.610	1.3050	0.522	130	64.9	43.3	21.6	10.8	5.41	2.33
5.23	2.615	1.3075	0.523	129	64.7	43.1	21.6	10.8	5.39	2.31
5.24	2.620	1.3100	0.524	129	64.4	42.9	21.5	10.7	5.37	2.29
5.25	2.625	1.3125	0.525	128	64.1	42.8	21.4	10.7	5.34	2.28
5.26	2.630	1.3150	0.526	128	63.9	42.6	21.3	10.6	5.32	2.26
5.27	2.635	1.3175	0.527	127	63.6	42.4	21.2	10.6	5.30	2.24
5.28	2.640	1.3200	0.528	127	63.3	42.2	21.1	10.6	5.28	2.22
5.29	2.645	1.3225	0.529	126	63.1	42.1	21.0	10.5	5.26	2.21
5.30	2.650	1.3250	0.530	126	62.8	41.9	20.9	10.5	5.24	2.19

表 X1.1 (续)

压痕直径, d(mm)				布氏硬度数						
10 mm 钢球	5 mm 钢球	2.5 mm 钢球	1 mm 钢球	HBW 10/3000 HFW 5-750 HFW 2.5-187.5 HFW 1.20	HBW 10/1500	HBW 10/1000 HFW 5-250 HFW 2.5-62.5 HFW 1.10	HBW 10-600 HFW 5-125 HFW 2.5-31.25 HFW 1.5	HBW 10-250 HFW 5-62.5 HFW 2.5-15.625 HFW 1.2	HBW 10-125 HFW 5-31.25 HFW 2.5-7.8125 HFW 1.125	HBW 10-100 HFW 5-25 HFW 2.5-6.25 HFW 1.1
5.31	2.655	1.3275	0.811	125	62.5	41.7	20.9	10.4	5.21	4.17
5.32	2.660	1.3300	0.812	126	62.8	41.5	20.8	10.4	5.19	4.15
5.33	2.665	1.3325	0.813	124	62.1	41.4	20.7	10.3	5.17	4.14
5.34	2.670	1.3350	0.814	124	61.8	41.2	20.6	10.3	5.15	4.12
5.35	2.675	1.3375	0.815	123	61.5	41.0	20.5	10.2	5.13	4.10
5.36	2.680	1.3400	0.816	123	61.3	40.9	20.4	10.2	5.11	4.09
5.37	2.685	1.3425	0.817	122	61.0	40.7	20.3	10.2	5.09	4.07
5.38	2.690	1.3450	0.818	122	60.8	40.5	20.3	10.1	5.07	4.05
5.39	2.695	1.3475	0.819	121	60.6	40.4	20.2	10.1	5.05	4.04
5.40	2.700	1.3500	0.820	121	60.3	40.2	20.1	10.1	5.03	4.02
5.41	2.705	1.3525	0.821	120	60.1	40.0	20.0	10.0	5.01	4.00
5.42	2.710	1.3550	0.822	120	59.8	39.9	19.9	10.0	4.99	3.99
5.43	2.715	1.3575	0.823	119	59.5	39.7	19.9	9.99	4.97	3.97
5.44	2.720	1.3600	0.824	119	59.2	39.6	19.8	9.99	4.95	3.96
5.45	2.725	1.3625	0.825	118	58.9	39.4	19.7	9.95	4.93	3.94
5.46	2.730	1.3650	0.826	118	58.6	39.2	19.6	9.91	4.91	3.92
5.47	2.735	1.3675	0.827	117	58.3	39.1	19.5	9.87	4.89	3.91
5.48	2.740	1.3700	0.828	117	58.0	38.9	19.4	9.83	4.87	3.89
5.49	2.745	1.3725	0.829	116	57.7	38.8	19.4	9.80	4.85	3.88
5.50	2.750	1.3750	0.830	116	57.4	38.6	19.3	9.76	4.83	3.86
5.51	2.755	1.3775	0.831	115	57.1	38.5	19.2	9.72	4.81	3.85
5.52	2.760	1.3800	0.832	115	56.8	38.3	19.2	9.68	4.79	3.83
5.53	2.765	1.3825	0.833	114	56.5	38.2	19.1	9.64	4.77	3.82
5.54	2.770	1.3850	0.834	114	56.2	38.0	19.0	9.60	4.75	3.80
5.55	2.775	1.3875	0.835	114	55.9	37.9	18.9	9.57	4.73	3.79
5.56	2.780	1.3900	0.836	113	55.6	37.7	18.8	9.53	4.71	3.77
5.57	2.785	1.3925	0.837	113	55.3	37.6	18.7	9.50	4.70	3.76
5.58	2.790	1.3950	0.838	112	55.0	37.4	18.6	9.45	4.68	3.74
5.59	2.795	1.3975	0.839	112	54.7	37.3	18.5	9.42	4.66	3.73
5.60	2.800	1.4000	0.840	111	54.4	37.1	18.4	9.38	4.64	3.71
5.61	2.805	1.4025	0.841	111	54.1	37.0	18.3	9.34	4.62	3.70
5.62	2.810	1.4050	0.842	110	53.8	36.8	18.2	9.31	4.60	3.68
5.63	2.815	1.4075	0.843	110	53.5	36.7	18.1	9.27	4.58	3.67
5.64	2.820	1.4100	0.844	110	53.2	36.5	18.0	9.24	4.57	3.65
5.65	2.825	1.4125	0.845	109	52.9	36.4	17.9	9.20	4.55	3.64
5.66	2.830	1.4150	0.846	109	52.6	36.2	17.8	9.16	4.53	3.63
5.67	2.835	1.4175	0.847	108	52.3	36.1	17.7	9.13	4.51	3.61
5.68	2.840	1.4200	0.848	108	52.0	36.0	17.6	9.09	4.50	3.60
5.69	2.845	1.4225	0.849	107	51.7	35.8	17.5	9.06	4.48	3.58
5.70	2.850	1.4250	0.850	107	51.4	35.7	17.4	9.02	4.46	3.57
5.71	2.855	1.4275	0.851	107	51.1	35.6	17.3	8.99	4.44	3.56
5.72	2.860	1.4300	0.852	106	50.8	35.4	17.2	8.95	4.43	3.54
5.73	2.865	1.4325	0.853	106	50.5	35.3	17.1	8.92	4.41	3.53
5.74	2.870	1.4350	0.854	105	50.2	35.1	17.0	8.88	4.39	3.51
5.75	2.875	1.4375	0.855	105	49.9	35.0	17.0	8.85	4.38	3.50
5.76	2.880	1.4400	0.856	105	49.6	34.9	17.0	8.82	4.36	3.49
5.77	2.885	1.4425	0.857	104	49.3	34.7	17.0	8.78	4.34	3.47
5.78	2.890	1.4450	0.858	104	49.0	34.6	17.0	8.75	4.33	3.46
5.79	2.895	1.4475	0.859	103	48.7	34.5	17.2	8.72	4.31	3.45
5.80	2.900	1.4500	0.860	103	48.4	34.3	17.2	8.69	4.29	3.43
5.81	2.905	1.4525	0.861	103	48.1	34.2	17.1	8.65	4.28	3.42
5.82	2.910	1.4550	0.862	102	47.8	34.1	17.0	8.62	4.26	3.41
5.83	2.915	1.4575	0.863	102	47.5	33.9	17.0	8.58	4.24	3.39
5.84	2.920	1.4600	0.864	101	47.2	33.8	16.9	8.54	4.23	3.38
5.85	2.925	1.4625	0.865	101	46.9	33.7	16.8	8.52	4.21	3.37
5.86	2.930	1.4650	0.866	101	46.6	33.6	16.8	8.49	4.20	3.36
5.87	2.935	1.4675	0.867	100	46.3	33.4	16.7	8.45	4.18	3.34
5.88	2.940	1.4700	0.868	100	46.0	33.3	16.7	8.43	4.16	3.33
5.89	2.945	1.4725	0.869	100	45.7	33.2	16.6	8.39	4.15	3.32
5.90	2.950	1.4750	0.870	99.2	45.4	33.1	16.5	8.36	4.13	3.31
5.91	2.955	1.4775	0.871	98.8	45.1	32.9	16.5	8.33	4.12	3.29
5.92	2.960	1.4800	0.872	98.4	44.8	32.8	16.4	8.29	4.10	3.28
5.93	2.965	1.4825	0.873	98.0	44.5	32.7	16.3	8.27	4.08	3.27
5.94	2.970	1.4850	0.874	97.7	44.2	32.6	16.3	8.24	4.07	3.26
5.95	2.975	1.4875	0.875	97.3	43.9	32.4	16.2	8.21	4.05	3.24
5.96	2.980	1.4900	0.876	96.9	43.6	32.3	16.2	8.18	4.04	3.23
5.97	2.985	1.4925	0.877	96.5	43.3	32.2	16.1	8.15	4.02	3.22
5.98	2.990	1.4950	0.878	96.2	43.0	32.1	16.0	8.12	4.01	3.21
5.99	2.995	1.4975	0.879	95.8	42.7	32.0	16.0	8.09	3.99	3.20
6.00	3.000	1.5000	0.880	95.5	42.4	31.8	15.9	8.06	3.98	3.18

表 X1.1 (续)

压痕直径, d (mm)				布氏硬度数						
10 mm 钢球	5 mm 钢球	2.5 mm 钢球	1 mm 钢球	HRW 10/3000 H1W 5.750 HBW 2.5/187.5 HRW 130	HRW 10/1500	HRW 10/1000 H1W 5.250 HBW 2.5/82.5 HRW 110	HRW 10/500 H1W 5.125 HBW 2.5/31.25 HRW 15	HRW 10/250 H1W 5.125 HBW 2.5/15.625 HRW 12	HRW 10/125 H1W 5.125 HBW 2.5/7.8125 HRW 11.25	HRW 10/100 H1W 5.25 HBW 2.5/6.25 HRW 11
6.01	3.005	1.5025	0.601	65.1	47.6	31.7	15.9	7.93	3.96	2.17
6.02	3.010	1.5050	0.602	64.8	47.4	31.6	15.8	7.90	3.95	2.16
6.03	3.015	1.5075	0.603	64.4	47.2	31.5	15.7	7.87	3.93	2.15
6.04	3.020	1.5100	0.604	64.1	47.0	31.4	15.6	7.84	3.92	2.14
6.05	3.025	1.5125	0.605	63.7	46.9	31.2	15.6	7.81	3.91	2.13
6.06	3.030	1.5150	0.606	63.4	46.7	31.1	15.6	7.78	3.90	2.12
6.07	3.035	1.5175	0.607	63.0	46.5	31.0	15.5	7.75	3.89	2.10
6.08	3.040	1.5200	0.608	62.7	46.3	30.9	15.5	7.72	3.88	2.09
6.09	3.045	1.5225	0.609	62.3	46.2	30.8	15.4	7.69	3.86	2.08
6.10	3.050	1.5250	0.610	62.0	46.0	30.7	15.4	7.67	3.85	2.07
6.11	3.055	1.5275	0.611	61.7	45.8	30.6	15.3	7.64	3.84	2.06
6.12	3.060	1.5300	0.612	61.3	45.7	30.4	15.2	7.61	3.83	2.04
6.13	3.065	1.5325	0.613	61.0	45.5	30.3	15.2	7.58	3.79	2.03
6.14	3.070	1.5350	0.614	60.6	45.3	30.2	15.1	7.55	3.78	2.02
6.15	3.075	1.5375	0.615	60.3	45.2	30.1	15.1	7.53	3.76	2.01
6.16	3.080	1.5400	0.616	60.0	45.0	30.0	15.0	7.50	3.75	2.00
6.17	3.085	1.5425	0.617	59.6	44.8	29.9	14.9	7.47	3.74	2.00
6.18	3.090	1.5450	0.618	59.3	44.7	29.8	14.9	7.44	3.72	2.00
6.19	3.095	1.5475	0.619	58.9	44.5	29.7	14.8	7.42	3.71	2.00
6.20	3.100	1.5500	0.620	58.7	44.3	29.6	14.8	7.39	3.69	2.00
6.21	3.105	1.5525	0.621	58.3	44.2	29.4	14.7	7.36	3.68	2.00
6.22	3.110	1.5550	0.622	58.0	44.0	29.3	14.7	7.33	3.67	2.00
6.23	3.115	1.5575	0.623	57.7	43.8	29.2	14.7	7.31	3.65	2.00
6.24	3.120	1.5600	0.624	57.4	43.7	29.1	14.6	7.28	3.64	2.01
6.25	3.125	1.5625	0.625	57.1	43.5	29.0	14.6	7.25	3.63	2.00
6.26	3.130	1.5650	0.626	56.7	43.4	28.9	14.5	7.23	3.61	2.00
6.27	3.135	1.5675	0.627	56.4	43.2	28.8	14.5	7.20	3.60	2.00
6.28	3.140	1.5700	0.628	56.1	43.1	28.7	14.4	7.18	3.59	2.00
6.29	3.145	1.5725	0.629	55.8	42.9	28.6	14.3	7.15	3.57	2.00
6.30	3.150	1.5750	0.630	55.5	42.7	28.5	14.2	7.12	3.56	2.00
6.31	3.155	1.5775	0.631	55.2	42.6	28.4	14.2	7.10	3.55	2.04
6.32	3.160	1.5800	0.632	54.9	42.4	28.3	14.1	7.07	3.54	2.03
6.33	3.165	1.5825	0.633	54.6	42.3	28.2	14.1	7.05	3.52	2.02
6.34	3.170	1.5850	0.634	54.3	42.1	28.1	14.0	7.02	3.51	2.01
6.35	3.175	1.5875	0.635	54.0	42.0	28.0	14.0	7.00	3.50	2.00
6.36	3.180	1.5900	0.636	53.7	41.8	27.9	13.9	6.97	3.49	2.00
6.37	3.185	1.5925	0.637	53.4	41.7	27.8	13.9	6.95	3.47	2.00
6.38	3.190	1.5950	0.638	53.1	41.5	27.7	13.8	6.92	3.46	2.00
6.39	3.195	1.5975	0.639	52.8	41.4	27.6	13.8	6.90	3.45	2.00
6.40	3.200	1.6000	0.640	52.5	41.2	27.5	13.7	6.87	3.44	2.00
6.41	3.205	1.6025	0.641	52.2	41.1	27.4	13.7	6.85	3.42	2.04
6.42	3.210	1.6050	0.642	51.9	40.9	27.3	13.6	6.82	3.41	2.03
6.43	3.215	1.6075	0.643	51.6	40.8	27.2	13.6	6.80	3.40	2.02
6.44	3.220	1.6100	0.644	51.3	40.6	27.1	13.5	6.77	3.39	2.01
6.45	3.225	1.6125	0.645	51.0	40.5	27.0	13.5	6.75	3.37	2.00
6.46	3.230	1.6150	0.646	50.7	40.3	26.9	13.4	6.72	3.36	2.00
6.47	3.235	1.6175	0.647	50.4	40.2	26.8	13.4	6.70	3.35	2.00
6.48	3.240	1.6200	0.648	50.1	40.1	26.7	13.3	6.68	3.34	2.00
6.49	3.245	1.6225	0.649	49.8	39.9	26.6	13.3	6.65	3.33	2.00
6.50	3.250	1.6250	0.650	49.5	39.8	26.5	13.2	6.63	3.31	2.00
6.51	3.255	1.6275	0.651	49.3	39.6	26.4	13.2	6.61	3.30	2.00
6.52	3.260	1.6300	0.652	49.0	39.5	26.3	13.2	6.58	3.29	2.03
6.53	3.265	1.6325	0.653	48.7	39.4	26.2	13.1	6.56	3.28	2.02
6.54	3.270	1.6350	0.654	48.4	39.2	26.1	13.1	6.54	3.27	2.01
6.55	3.275	1.6375	0.655	48.2	39.1	26.1	13.0	6.51	3.26	2.01
6.56	3.280	1.6400	0.656	47.9	38.9	26.0	13.0	6.49	3.24	2.00
6.57	3.285	1.6425	0.657	47.6	38.8	25.9	12.9	6.47	3.23	2.00
6.58	3.290	1.6450	0.658	47.3	38.7	25.8	12.9	6.44	3.22	2.00
6.59	3.295	1.6475	0.659	47.1	38.5	25.7	12.8	6.42	3.21	2.00
6.60	3.300	1.6500	0.660	46.8	38.4	25.6	12.8	6.40	3.20	2.00
6.61	3.305	1.6525	0.661	46.5	38.3	25.5	12.8	6.38	3.19	2.00
6.62	3.310	1.6550	0.662	46.2	38.1	25.4	12.7	6.35	3.18	2.00
6.63	3.315	1.6575	0.663	46.0	38.0	25.3	12.7	6.33	3.17	2.00
6.64	3.320	1.6600	0.664	45.7	37.9	25.2	12.6	6.31	3.15	2.02
6.65	3.325	1.6625	0.665	45.4	37.7	25.1	12.6	6.29	3.14	2.01
6.66	3.330	1.6650	0.666	45.2	37.6	25.1	12.5	6.26	3.13	2.01
6.67	3.335	1.6675	0.667	44.9	37.5	25.0	12.5	6.24	3.12	2.00
6.68	3.340	1.6700	0.668	44.7	37.3	24.9	12.4	6.22	3.11	2.49
6.69	3.345	1.6725	0.669	44.4	37.2	24.8	12.4	6.20	3.10	2.48
6.70	3.350	1.6750	0.670	44.1	37.1	24.7	12.4	6.18	3.09	2.47

表 X1.1 (续)

压痕直径, d (mm)				布氏硬度数						
10 mm 钢球	5 mm 钢球	2.5 mm 钢球	1 mm 钢球	HBW 10/3000 HBW 5/750 HBW 2.5/187.5 HBW 1/30	HBW 10/1500	HBW 10/1000 HBW 5/250 HBW 2.5/62.5 HBW 1/10	HBW 10/500 HBW 5/125 HBW 2.5/31.25 HBW 1/5	HBW 10/250 HBW 5/62.5 HBW 2.5/15.625 HBW 1/2	HBW 10/125 HBW 5/31.25 HBW 2.5/7.8125 HBW 1/1.25	HBW 10/100 HBW 5/25 HBW 2.5/6.25 HBW 1/1
6.71	3.355	1.6775	0.671	27.9	36.8	24.6	19.3	6.16	3.08	2.46
6.72	3.360	1.6800	0.672	28.0	36.8	24.5	19.3	6.15	3.07	2.45
6.73	3.365	1.6825	0.673	28.1	36.7	24.5	19.2	6.14	3.06	2.45
6.74	3.370	1.6850	0.674	28.1	36.5	24.4	19.2	6.09	3.05	2.44
6.75	3.375	1.6875	0.675	28.2	36.4	24.3	19.1	6.07	3.04	2.43
6.76	3.380	1.6900	0.676	28.2	36.3	24.2	19.1	6.05	3.02	2.42
6.77	3.385	1.6925	0.677	28.3	36.2	24.1	19.1	6.03	3.01	2.41
6.78	3.390	1.6950	0.678	28.4	36.0	24.0	19.0	6.01	3.00	2.40
6.79	3.395	1.6975	0.679	28.4	35.9	23.9	19.0	5.99	2.99	2.39
6.80	3.400	1.7000	0.680	28.5	35.8	23.9	18.9	5.97	2.98	2.39
6.81	3.405	1.7025	0.681	28.5	35.7	23.8	18.9	5.94	2.97	2.38
6.82	3.410	1.7050	0.682	28.6	35.6	23.7	18.8	5.92	2.96	2.37
6.83	3.415	1.7075	0.683	28.6	35.5	23.6	18.8	5.90	2.95	2.36
6.84	3.420	1.7100	0.684	28.7	35.4	23.5	18.7	5.88	2.94	2.35
6.85	3.425	1.7125	0.685	28.7	35.3	23.5	18.7	5.86	2.93	2.35
6.86	3.430	1.7150	0.686	28.8	35.1	23.4	18.6	5.84	2.92	2.34
6.87	3.435	1.7175	0.687	28.9	34.9	23.3	18.6	5.82	2.91	2.33
6.88	3.440	1.7200	0.688	28.9	34.8	23.2	18.5	5.80	2.90	2.32
6.89	3.445	1.7225	0.689	29.0	34.7	23.1	18.5	5.78	2.89	2.31
6.90	3.450	1.7250	0.690	29.0	34.6	23.1	18.5	5.76	2.88	2.31
6.91	3.455	1.7275	0.691	29.1	34.5	23.0	18.5	5.74	2.87	2.30
6.92	3.460	1.7300	0.692	29.1	34.4	22.9	18.4	5.72	2.86	2.29
6.93	3.465	1.7325	0.693	29.2	34.3	22.9	18.4	5.70	2.85	2.28
6.94	3.470	1.7350	0.694	29.2	34.1	22.7	18.3	5.68	2.84	2.27
6.95	3.475	1.7375	0.695	29.3	34.0	22.7	18.3	5.66	2.83	2.27
6.96	3.480	1.7400	0.696	29.3	33.9	22.6	18.3	5.64	2.82	2.26
6.97	3.485	1.7425	0.697	29.4	33.8	22.5	18.3	5.63	2.81	2.25
6.98	3.490	1.7450	0.698	29.4	33.6	22.4	18.2	5.61	2.80	2.24
6.99	3.495	1.7475	0.699	29.5	33.5	22.3	18.2	5.59	2.79	2.23

X2. 布氏硬度不确定度测定程序举例

X2.1 范围

X2.1.1 本附件用于提供布氏硬度测量值不确定度的近似评估方法，以简化和统一用户对布氏硬度不确定度的解释。

X2.1.2 本附件提供了以下硬度值的不确定度测定的基本程序。

X2.1.2.1 测定的硬度设备“误差”（作为间接校验的一部分，见 X2.6）——作为间接校验的一部分，在仲裁试块上读取一组布氏硬度测量值。测量值的平均值与仲裁试块的鉴定值相互比较，以确定硬度设备的“误差”（见 3.2.4）。章节 X2.6 所述的程序提供了一种硬度设备测量值“误差”的不确定度的确定方法。不确定度数值可在鉴定合格证和试验报告中报告。

X2.1.2.2 测定的硬度设备“误差”（作为直接校验的一部分，见 X2.7）——作为直接校验的一部分，测定了硬度设备上的单独零件的误差，这些零件包括力值施加系统、压痕测量系统和压头。除了上述零件的误差之外，还应考虑其它潜在的误差来源。硬度设备测量值“误差”可通过测定这些零件的每一种误差如何形成硬度测量的总误差进行评估确定。当只通过直接校验方法来校验硬度设备时，尽管本方法评估的硬度设备的测量值“误差”不需要在鉴定合格证和试验报

告中报告,但是误差值及其不确定度需要用于计算测量值不确定度。章节 X2.7 所述程序提供了一种确定硬度设备测量“误差”的不确定度的方法。

X2.1.2.3 某一用户测量的布氏硬度值(见 X2.8)—布氏硬度设备正常使用期间,本程序提供了一种某一用户测量的硬度值的不确定度的测定方法。用户可以报告测量值的不确定度数值。

X2.1.2.4 布氏硬度试块的鉴定值(见 X2.9)—本程序提供了一种标定试块鉴定值的不确定度测定方法。标定机构可在试块合格证上报告不确定度数值。

注 X2.1—当计算时,现场校准机构(见 X2.5.7 和 X2.7)报告的不确定度数值不是硬度设备操作期间的测量不确定度,但是只有校验期间获得的测量不确定度可用于确定设备“误差”。

注 X2.2—本附件列举的测定不确定度的程序主要依据本实验方法校验和标定程序部分执行的测量。这样做的目的是为了提供一种依据布氏硬度使用者和标定机构的常见程序和实践经历方法。读者应意识到可以采用其它方法来确定相同的不确定度。

注 X2.3—本标准说明了布氏硬度设备可接受再现性和误差的公差或极限以及标定试块不均匀性的公差或极限。这些极限值原先是依据许多布氏硬度试验用户的测试经验来确立的,因此反映了正确操作布氏硬度设备的正常性能,包括测量程序和设备性能相关的正常误差。因为上述极限值依据测试经验,相信其考虑了有效布氏硬度测量的典型不确定度的水平。因此,当确定所述公差的一致性时,用户测量不确定度应不能减去表中给出的公差极限值,这种做法通常用于其它类型的度量测量。再现性、误差或试块不均匀性的计算值应直接与表中给出的公差极限相互比较。

注 X2.4—布氏硬度多数产品规范公差是依据测试和使用经验进行确定的。公差值反映了正确操作布氏硬度设备的正常性能,包括硬度测量步骤相关的正常可接受误差。对于这些产品,所述的公差极限考虑了有效布氏硬度测量的典型不确定度水平。因此,当多数产品的布氏硬度测试合格时,用户测量不确定度应不能减去本标准给出的公差极限值。测量的硬度值应直接与公差值相互比较。这也有例外的情况,即当某个产品的硬度必须落在高水平置信度的测定范围之内时,在这些罕见场合,硬度测量不确定度减去公差极限之前,涉及的部门之间应达成特殊协议。在达成协议之前,建议产品设计时除了考虑典型的工业硬度不确定数值之外,还应考虑产品变动时材料的预期反应和冶金行为。

X2.1.3 本附件没有列举主要仲裁标定水平的不确定度。

X2.2 等式

X2.2.1 n 次硬度测量 H_1, H_2, \dots, H_n 所计算的平均值 (AVG), \bar{H} 的公式如下:

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

X2.2.2 n 次硬度测量 H_1, H_2, \dots, H_n 所计算的标准偏差 (STDEV) 的公式如下:

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

其中:

\bar{H} = n 次硬度测量 H_1, H_2, \dots, H_n 的平均值, 按等式 X2.1 的定义。

X2.2.3 数值的绝对值 (ABS) 指与数值大小无关的符号, 例如:

$$\text{ABS}(0.12)=0.12 \text{ 和 } \text{ABS}(-0.12)=0.12$$

X2.2.4 压痕直径 Δd 的递增变化导致的硬度 ΔH 的递增变化可以计算如下:

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

其中:

H=硬度 ΔH 递增改变之前的布氏硬度值;

d=直径 Δd 的递增变化之前的压痕平均直径, 单位为 mm;

D=压头球的直径, 单位为 mm。

X2.2.5 硬度 ΔH 的递增变化导致的压痕直径 Δd 的递增变化可以计算如下:

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

其中:

H=硬度 ΔH 递增改变之前的布氏硬度值;

d=直径 Δd 的递增变化之前的压痕平均直径, 单位为 mm;

D=压头球的直径, 单位为 mm。

X2.2.6 施加力 ΔF 的递增变化导致的硬度 ΔH 的递增变化可以计算如下:

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

其中:

H=硬度 ΔH 递增改变之前的布氏硬度值;

F=施加力 ΔF 的递增变化之前的施加力值 (F 和 ΔF 有相同的单位)。

X2.2.7 结合等式 X2.3 和等式 X2.5, 施加力 ΔF 的递增变化导致的硬度 Δd 的递增变化可以计算如下:

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

其中:

F=施加力 ΔF 的递增变化之前的施加力值 (F 和 ΔF 有相同的单位)。

d =直径 Δd 的递增变化之前的压痕平均直径, 单位为 mm;

D =压头球的直径, 单位为 mm。

注 X2.5—当 ΔH 和 Δd 值较小时, 应只使用等式 X2.3、X2.4 和 X2.6。这些等式适用于按照本附件的程序来计算 ΔH 和 Δd 的典型值; 然而, 这等式可产生显著误差, 从而使得 ΔH 和 Δd 的值变大。

X2.3 通用要求

X2.3.1 相对于仲裁标准, 测定本附件所示的不确定度的主要方式是只考虑布氏硬度试验机的总体测量性能相关的不确定度。由于上述原因, 各个设备零件在公差之内操作是非常重要的。强烈建议只在成功通过直接校验之后, 才应执行本程序。

X2.3.2 为评估布氏硬度测量值的总体不确定度, 必须确定贡献不确定度的零件。由于多数不确定度可能随着特定硬度刻度和硬度等级的变化而发生变化, 对于每个硬度刻度和硬度等级, 应确定各个测量值的测量不确定度。在多数场合, 依据实验室经验和硬度设备操作的知识, 单个不确定度值可能适用于硬度等级的某个范围。

X2.3.3 应测定国家仲裁标准相关的不确定度。

X2.4 通用程序

X2.4.1 所有不确定度计算值最初取决于压痕直径值 (单位为 mm)。压痕直径形式表达的这些不确定度也可转化为以布氏硬度值表达的不确定度。

X2.4.2 该程序计算了复合标准不确定度 u_c 。计算时将各个零件的不确定度 u_1, u_2, \dots, u_n 复合获得, 例如:

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

X2.4.3 测量不确定度通常表达为扩展不确定度 U , 该值通过复合标准不确定度 u_c 乘以数值包含因子 k 获得, 例如:

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

X2.4.4 包含因子的选择取决于怎样更好得评估标准不确定度和要求的不确定度水平。对于本分析, 应使用 $k=2$ 的包含因子。该包含因子提供了大约 95% 的置信度水平。

X2.4.5 硬度设备的测量偏差 B 是指硬度设备显示的预期硬度测量值和材料的“真实”硬度的差值。在理想条件下, 测量值偏差应进行修正。当试验系统不能校正测量偏差时, 上述情况通常在布氏硬度试验中发生, 此时的偏差将促成形成某一测量的总体不确定度。这里有许多可能的方法将偏差并入不确定度计算中, 这些方法各有利弊。一种简单保守的方法是组合偏差和扩展不确定度的计算值, 即:

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

其中:

ABS(B)=偏差的绝对值。

X2.4.6 由于可采用几种方式来评估和表达测量不确定度，报告不确定度值时，应对报告的不确定度数值的表达方式进行简短描述。

X2.5 不确定度来源

X2.5.1 本章节描述了布氏硬度测量的不确定度的最主要来源，同时提供了计算硬度值的总体不确定度的程序和公式。在后面的章节中，将说明这些不确定度来源如何导致产生 X2.1.2 所示的三次测量的总体测量不确定度。

X2.5.2 待讨论的不确定度来源包括：（1）硬度设备和测量系统缺少再现性；（2）试验时材料硬度不均匀；（3）硬度设备和测量系统长时间缺少重复能力；（4）硬度设备测量系统的分辨率和（5）仲裁试块标准的鉴定值的不确定度。测量偏差及其计入的扩展不确定度的评估也将要讨论。

X2.5.3 由于缺少再现性 (u_{Repeat}) 和不均匀性产生的组合不确定度 ($u_{\text{Rep&NU}}$)—缺少再现性则暗示每次执行测量时，布氏硬度设备和压痕测量系统可以继续产生相同硬度值的程度。想象有一种材料，其整个表面上的硬度完全均匀。在不改变试验条件（包括操作者）的前提下，然后想象在短时间内在该均匀材料上可以重复执行硬度测量。尽管每个试验位置的实际硬度完全相同，应该发现由于随机误差，每个测量值将不同于所有其它测量值（假设测量分辨率充足）。因此，缺少再现性阻碍了硬度设备能够总是测量出材料的真实硬度，因此导致测量产生不确定度。

X2.5.3.1 硬度设备和压痕测量系统缺少再现性产生的总体测量不确定度可采用不同方法进行判定，即依据是否单次测量值或多次测量值的平均值需要报告。另外，当报告的平均测量值拟用于待测试材料的平均硬度评估时，由于设备缺少再现性和试验材料不均匀产生的不确定度难以分开，所以必须一起进行确定。发生上述所示的每一种情况产生的不确定度可按以下要求进行评估。

X2.5.3.2 单次硬度测量—对今后的单次硬度测量，由于缺少再现性产生的标准不确定度 u_{Repeat} ，其可通过在均匀试验样本上获得的许多硬度测量值的标准偏差来进行评估。

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

其中：

$d_1, d_2, \dots, d_n = n$ 个压痕的压痕平均测量直径，单位为 mm。

注 X2.6—通常来说，随着增加硬度测量次数，可提高再现性的评估精度。一般来说，间接校验期间执行的硬度测量（按压痕直径）将提供适当的 u_{Repeat} 评估；然而，应考虑注 X2.8 给出的警告。对于用户来说，在尽可能接近（间距极限之内）均匀材料（例如试块）执行硬度测量，依此数据得出的 u_{Repeat} 值更适当。

注 X2.7—以上讨论的由于缺少硬度设备再现性而产生的不确定度 u_{Repeat} 应不能与过去定义的“再现性”（该“再现性”是指为满足某一间接校验部分的一个要求，见 3.2.2）相互混淆。不确定度 u_{Repeat} 和过去定义的再现性的计算值不能生成相同值。不确定度 u_{Repeat} 是指由于设备缺少再现性而产生的硬度测量值的总体不确定，然而，过去定义的再现性是指某一间接校验期间硬度测量值的范围。

注 X2.8—所有材料的试验表面多少都呈现一定程度的硬度不均匀。因此，以上由于缺少再现性产生的不确定度评估也将包括由于测量材料硬度不均匀所产生的不确定度。当按以上所述评估再现性时，由于硬度不均匀产生的任何不确定度应尽可能得最小化。实验室应注意，如果再现性测量值依据横跨材料表面执行的试验，此时再现性值将可能包括一个由于材料不均匀产生的显著不确定度。靠近位置处执行硬度测量（间距极限之内），可更好地评估设备再现性。

X2.5.3.3 多个测量值的平均值—当将要报告多个硬度测量值的平均值时，由于缺少硬度设备再现性产生的标准组合不确定度 u_{Repeat} ，可以通过标准不确定度 u_{Repeat} （先前按照均匀试验样本获得的多个压痕计算得出 u_{Repeat} ，见 X2.5.3.2）除以硬度测试数量的平方根计算得出。

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

其中：

u_{Repeat} = 按等式 X2.10 的计算值；

n_T = 硬度测试数量

X2.5.3.4 材料硬度的评估—通常在多个位置执行硬度测量，然后计算平均值来评估材料的平均硬度。例如，许多类型产品制造期间，当执行质量控制测量时，当设备“误差”测定作为某一间接校验的一部分时，和当校准试块时，可进行材料硬度的评估。由于所有材料在横跨试验表面多少有一定程度的硬度不均匀，材料不均匀也可导致材料平均值评估的不确定。当计算的多个硬度测量值的平均值作为平均材料或产品硬度的评估值时，要求说明材料真实硬度相关的不确定。在这种情况下，由于硬度设备和压痕测量系统缺少再现性和由于测试材料不均匀而产生的组合不确定度可通过硬度测量值的“平均值标准偏差”评估得出。这也可计算为硬度值的标准偏差除以测量测试的根号平方根，即：

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

其中：

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

X2.5.4 由于缺少重复能力的不确定度 (u_{Reprod})—缺少重复能力是指硬度测量系统日复一日的性能变化。变化，例如不同的设备操作者和试验环境的改变通常影响硬度设备的性能。重复能力水平最好通过检测硬度设备性能进行确定，监测时延长周期时间，硬度设备在试验变量的极

端执行监测。评估重复能力期间，设备可控是非常重要的。如果设备需要维护或者操作不准确，将过度评估再现性的缺少。

X2.5.4.1 某一硬度设备重复能力的缺少的评估应依据硬度设备的定期监测测量，例如在一定时间内在相同试块上执行的日常校验测量。组合不确定度可通过每组监测值的平均值的标准偏差计算得出，即：

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

其中

$\overline{d_{M1}}, \overline{d_{M2}}, \dots, \overline{d_{Mn}}$ = 每天获得的多个监测测量值的 n 组平均值。

注 X2.9—由于缺少重复能力产生的不确定度（按等式 X2.13 计算），也包括由于设备缺少再现性和监测试块不均匀产生的不确定度；然而，这些场合都是基于多次测量的平均值，因此应不能显著得过高评估重复能力的不确定度。

X2.5.4.2 由于压痕测量系统分辨率产生的不确定度 (u_{Resol})—压痕直径测量系统的有限分辨率阻碍了绝对精确硬度值的评估。当使用某些类型的手动测量设备时，该不确定度可能非常重要。

X2.5.4.3 由于压痕测量系统分辨率影响而产生的不确定度 u_{Resol} 可通过矩形分布进行描述，评估方法为：

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

其中：

r = 压痕测量系统评估的压痕直径分辨率极限，单位为 mm。

X2.5.5 仲裁试块鉴定值的标准不确定度 (u_{RefBlk})—仲裁试块附带的合格证应提供给定鉴定值的不确定度。该不确定度促使产生带试块的校准或鉴定过的硬度设备测量不确定。

X2.5.5.1 注意仲裁试块合格证报告的不确定度通常称为扩展不确定度。按等式 X2.9 所示，扩展不确定度通过标准不确定度乘以包含因子（通常为 2）计算得出。该分析使用了标准不确定度，而不是扩展不确定度值，因此，仲裁试块鉴定后的平均压痕直径值的不确定度通常可计算为：

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

其中：

$U_{\text{RefBlk(mm)}}$ = 以压痕直径表达的仲裁试块鉴定值的扩展不确定度，单位为 mm；

$k_{\text{RefBlk(mm)}}$ = 仲裁标准试块鉴定值不确定度计算所采用的包含因子（通常为 2）。

X2.5.5.2 在本分析中，仲裁试块鉴定值的不确定度必须以压痕直径来表示（单位为 mm）。当仲裁试块鉴定只提供以布氏硬度值表述的不确定度时，此时该不确定度必须按等式 X2.4 转化，即 $U_{\text{RefBlk(HBW)}}$ 替换为 ΔH 。 Δd 的计算值此时变为 $U_{\text{RefBlk(mm)}}$ 的一个新值，即：

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

X2.5.6 测量偏差 (B)—本试验方法的校验章节提供了两种可接受的某一布氏硬度设备测量值偏差确定用程序：（1）通过使用仲裁试块进行间接校验和（2）直接校验设备零件，包括施加力和压痕测量系统。测量偏差为某一材料的“真实”硬度与硬度设备所获得的硬度测量值的差值。

X2.5.6.1 间接校验—当硬度设备通过间接校验法进行校验时，可通过在仲裁标准试块上执行布氏硬度测量来评估硬度设备的测量误差。测量误差 B 可通过间接校验部分确定的“误差”进行评估，可用压痕直径或布氏硬度值来表述。

X2.5.6.2 以压痕直径表述的测量偏差 $B_{(\text{mm})}$ 可计算为：

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

其中：

\bar{d} —间接校验期间，测量的压痕平均直径；

\bar{d}_{RefBlk} —间接校验采用的仲裁试块标准鉴定过的平均压痕直径。

注 X2.10—测量偏差 $B_{(\text{mm})}$ ，以长度单位（mm）表示。

X2.5.6.3 以布氏硬度值表示的测量偏差 $B_{(\text{HBW})}$ 可计算为：

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

其中：

\bar{H} —间接校验期间，硬度设备测量的平均硬度值；

\bar{H}_{RefBlk} —间接校验采用的仲裁试块标准的平均鉴定硬度值。

测量偏差 $B_{(\text{HBW})}$ 也可采用等式 X2.3 由 $B_{(\text{mm})}$ 计算得出，其中 $B_{(\text{mm})}$ 替代 Δd 。 ΔH 的计算值此时变为 $B_{(\text{HBW})}$ 的一个新值：

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

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

X2.5.6.4 直接校验—当硬度设备只通过直接校验法进行校验时，硬度设备的测量误差应通过组合设备零件的各个误差进行评估。尽管可能存在许多布氏硬度设备的误差来源，典型的也就是最重要误差来源就是力施加相同 E_{Force} 和压痕测量系统 $E_{Indentation}$ 。其它来源可能包括压头球直径的误差，保持时间计时的误差，压入速率误差等等。建议进行所有的误差来源分析，以确定这些误差的重要性。简单计算时，将只考虑两个误差 E_{Force} 和 $E_{Indentation}$ 。

X2.5.6.5 这些误差的组合来源可用测量值的单位来表述计算，例如， E_{Force} 和 $E_{Indentation}$ 可各自用长度单位 (mm) 和力单位 (kgf 或 N) 来确定。本标准没有显示 E_{Force} 和 $E_{Indentation}$ 的计算程序。为计算测量偏差 B ，三个误差必须以压痕直径来表述进行确定。压痕测量系统误差 $E_{Indentation}$ 已经采用了正确单位；然而，误差 $E_{Force(kgf \text{ 或 } N)}$ 必须按等式 X2.6 转化为以压痕直径表述的误差，式中 $E_{Force(kgf \text{ 或 } N)}$ 替代 ΔF 。此时 Δd 的计算值变为 $E_{Force}'_{(mm)}$ 的一个新值。

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

X2.5.6.6 测量偏差 B 评估时可对各个误差值求和，若作为直接校验的一部分，求和时保留每个误差值的正确符号（不管是正值还是负值）。

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

X2.5.7 为确定以布氏硬度单位 $B_{(HBW)}$ 表述的测量“误差”或偏差，按等式 X2.21 计算为以压痕直径表述的偏差，必须按等式 X2.19 进行转化。

X2.6 不确定度计算程序：直接校验确定的测量误差

X2.6.1 作为间接校验的一部分，硬度设备“误差”应通过仲裁试块（见 3.2.4）获得的测量值平均值进行确定。该值表明了硬度设备测量某一材料“真实”硬度的程度。因为每一次硬度测量总是有不确定度，因此测量平均值确定必然有不确定度，即测定设备“误差”。本章节提供了可以使用的程序，例如通过现场校准机构来评估硬度设备测量“误差”的不确定度 u_{Mach} ，该值等于校验所用的仲裁试块的测量值平均值和鉴定值之间的差值。

X2.6.2 所有不确定度计算起初取决于压痕直径值，单位为 mm。测量“误差”的标准不确定度 $u_{Mach} (mm)$ 产生来源有：（1） $u_{Rep\&N}(Ref.Block)$ ，由于硬度设备缺少再现性和由于仲裁试块不均匀产生的不确定度（等式 X2.12），该不确定度可在仲裁试块上执行硬度测量来进行确定，以确定硬度设备的“误差”；（2） u_{Resol} ，由于压痕测量系统分辨率产生的不确定度（等式 X2.14）；（3） u_{RefBlk} ，以压痕直径表述的仲裁试块鉴定值的标准不确定度（等式 X2.15 和 X2.16）。符号 (Ref.Block) 添加到术语 $u_{Rep\&N}$ 中，以表示不确定度可通过间接校验所用仲裁试块获得的测量值进行确定。

X2.6.3 对于每个硬度等级和每个布氏硬度刻度，组合的标准不确定度 $U_{Mach}(\text{mm})$ 和扩展不确定度 $U_{Mach}(\text{mm})$ 可通过以上所述的相应不确定分量进行计算，以压痕直径表示，单位为 mm：

$$u_{Mach(\text{mm})} = \sqrt{u_{Re\&N}^2(Re\&N\ block) + u_{Re\&sol}^2 + u_{Re\&blk}^2} \quad (\text{X2.22})$$

和

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

X2.6.4 对于本分析，应采用 $k=2$ 的包含因子。该包含因子提供了大约 95% 的置信度。

注 X2.12—按等式 X2.22 计算的不确定度 $u_{Mach}(\text{mm})$ 不包括由于设备缺少再现性产生的不确定度。这是因为当硬度设备在最好的允许环境条件，同时在最优性能水平下操作时，才执行间接校验。

X2.6.5 为确定硬度设备测量“误差”的不确定度（以布氏硬度单位表述） $U_{Mach}(\text{HBW})$ ，等式 X2.3 计算的不确定度（以压痕直径表述）必须按等式 X2.3 进行转化，其中 $U_{Mach}(\text{mm})$ 代替 Δd 。此时 ΔH 的计算值变为 $U_{Mach}(\text{HBW})$ 的一个新值，用布氏硬度单位表述，即：

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

注 X2.13—当使用等式 X2.24 时，因为不确定度值总是为正值，因此已经删除了等式 X2.3 的首个负值符号。

注 X2.14—扩展不确定度 U_{Mach} 将通常用于硬度设备“误差”(偏差)值。

X2.6.6 报告测量不确定度—该扩展不确定度 U_{Mach} 可由校验机构向客户进行报告，报告说明硬度设备“误差”的不确定度，同时作为布氏硬度设备间接校验的一部分。 U_{Mach} 值应增补一份说明来定义适用的布氏硬度刻度和硬度水平，补充说明例如：“硬度设备“误差”的扩展不确定度报告作为所述布氏硬度刻度和硬度水平间接校验的一部分，该不确定度按 ASTM E10 附录 X1 计算，包含因子为 2，置信度大约为 95%。”

X2.6.7 当硬度设备确定未来测量的测量不确定度时（见 X2.8 和 X2.9），标准不确定度值 $U_{Mach}(\text{mm})$ 是一个非常用的不确定度数值。

X2.6.8 示例—作为某一布氏硬度设备间接校验的一部分，校验机构可能需要报告硬度设备“误差”的不确定度评估结果。在本例中，该评估将只可在 HBW 10/3000 刻度的中间硬度范围内执行测量。压痕测量设备的可移动手动放大镜的分辨率为 0.05mm，机构在 HBW 10/3000 硬度块执行三次校验测量，报告 4.24mm 的压痕直径鉴定平均值，此时扩展不确定度 $u_{Re\&blk}(\text{mm}) = \pm 0.04\text{mm}$ 。硬度试块合格证也应说明 202 HBW 10/3000 刻度的布氏硬度平均鉴定值，此时扩展不确定度 $u_{Re\&blk}(\text{HBW}) = \pm 4\text{HBW } 10/3000$ 。三次鉴定测量结果为：

压痕平均的直径长度：4.25，4.25 和 4.30mm

平均压痕直径：4.267mm

压痕直径误差（偏差）值：0.027mm

平均硬度计算值：199.8 HBW 10/3000

硬度误差（偏差）值：-2.3 HBW 10/3000

因此：

$$U_{\text{Rep\&NU}}^{(\text{Ref. Block})} = \frac{STDEV(4.25, 4.25, 4.30)}{\sqrt{3}} \quad (\text{等式 X2.12})$$

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

$$U_{\text{Resol}} = \frac{0.05}{\sqrt{12}} = 0.0144 \text{ mm} \quad (\text{等式 X2.14}) \text{ 和}$$

$$U_{\text{Reflink}} = \frac{0.04}{2} = 0.02 \text{ mm} \quad (\text{等式 X2.15})$$

因此：

$$U_{\text{Mach}(\text{min})} = \sqrt{0.0167^2 + 0.0144^2 + 0.02^2} = 0.0298 \text{ mm} \quad (\text{等式 X2.22}) \text{ 和}$$

$$U_{\text{Mach}(\text{min})} = (2 \times 0.0298) = 0.0596 \text{ mm} \quad (\text{等式 X2.23})$$

因此，硬度设备 0.027mm“误差”时的不确定度为 0.060mm。

以布氏硬度单位表述为：

$$U_{\text{Mach}(\text{HBW})} = 0.0596 \times \left(\frac{199.8 \times (10 + \sqrt{10^2 - 4.267^2})}{4.267 \times \sqrt{10^2 - 4.267^2}} \right) \quad (\text{等式 X2.24}) \text{ 或}$$

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

因此，硬度设备在 -2.3 HBW 10/3000“误差”时的不确定度为 5.9 HBW 10/3000。尽管在硬度大约为 200 HBW 10/3000 的材料上执行上述评估，可认为该不确定度适用于 HBW 10/3000 刻度的整个中间范围。除了鉴定的其它布氏硬度刻度范围之外，上述计算必须在 HBW 10/3000 刻度的上限和下限执行。

X2.7 不确定度计算程序：直接校验确定的测量误差

X2.7.1 作为直接校验的一部分，测定了硬度设备单个零件的误差。通过对每一个设备零件的各个鉴定测量值的不确定度求和，从而评估得到硬度设备测量“误差”的不确定度。

X2.7.2 对于布氏硬度设备和压痕测量系统的每一种误差来源，必须确定误差值和该误差的不确定度。这些误差值和不确定度的某些值可以不以压痕直径来表述。为评估硬度设备测量“误差”的不确定度 U_{Mach} ，硬度测量的每一种“误差”（以压痕直径表述）的影响必须确定。

A2.7.3 按先前 X2.5.6.4 所述，当简化时，将可以只考虑力值施加系统不确定度 E_{Force} 和压痕测量系统不确定度 $E_{\text{Indentation}}$ 。 $E_{\text{Indentation}}$ 和 E_{Force} 的计算程序本此处没有说明。不确定度 U_{Force} 通常采用力单位（kgf 或 N）进行测定，而不是以压痕直径的形式（mm）。压痕测量系统的不确定度 $U_{\text{Indentation}}$ 已经是正确单位；然而，力值误差的不确定度 U_{Force} （kgf 或 N）必须转化为以压痕直径

表述的不确定度，转化等式采用等式 X2.6，其中 $u_{Force(kgf \text{ 或 } N)}$ 替代了 ΔF 。 Δd 计算值然后变为 $u_{Force(mm)}$ 的一个新值，以压痕直径表述，即：

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

X2.7.4 对于每个布氏硬度肯定的硬度水平，可通过上述所示的相应不确定度系数和由于压痕测量系统分辨率产生的不确定度 u_{Resol} （按等式 X2.14）组合计算得出标准不确定度 u_{Mach} 和扩展不确定度 U_{Mach} ，即：

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

和

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

X2.7.5 为确定硬度设备的测量“误差”的不确定度（以布氏硬度单位 $u_{Mach(HBW)}$ 表示），此时必须按 X2.6.5 采用等式 X2.27 转化为以压痕直径表示的不确定度。

X2.7.6 尽管鉴定机构通常不向其客户报告按本方法确定的标准不确定度值 u_{Mach} ，但是该值可用于硬度设备执行未来测量的不确定度（见 X2.8 和 X2.9）。

X2.7.7 示例—当布氏硬度设备通过直接校验进行校验时，不要求鉴定机构报告硬度设备“误差”不确定度的评估结果，然而，不确定度的评估可通过直接校验测量值得出。在本例中，该不确定度评估将只可在 HBW 10/3000 刻度的中间硬度范围内执行测量，此处选择 200 HBW 10/3000(4.265mm 压痕直径)的硬度。压痕测量设备的可移动手动放大镜的分辨率为 0.05mm，机构在 3000kgf 力值施加和压痕测量设备的条件下执行直接校验。校验测量结果为：

力值误差（偏差）值， $E_{Force(kgf \text{ 或 } N)}$: -15kgf

力值误差的不确定度， $u_{Force(kgf \text{ 或 } N)}$: 2.5kgf

压痕测量系统误差， $E_{Indentation(mm)}$: 0mm

测量系统误差的不确定度， $u_{Indentation(mm)}$: 0.002mm(分级刻度尺不确定度)

因此，对于 200HBW 10/3000 的硬度等级，设备偏差计算公式为（以压痕直径米表示）

$E_{Indentation}$ =0mm，和

$$E_{Force(mm)} = -\frac{15}{3000} \times \left(\frac{4.265 \times \sqrt{10^2 - 4.265^2}}{10 + \sqrt{10^2 - 4.265^2}} \right) \quad (\text{等式 X2.20}) \text{ 或}$$

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

因此：

$B(mm)$ = $E_{Indentation}$ + $E_{Force(mm)}$ =0+0.0101=0.0101mm(等式 X2.21)

设备“误差”或偏差的不确定度计算公式为：

$u_{Indentation}$ =0.002mm，和

$$U_{Force(mm)} = \frac{2.5}{3000} \times \left(\frac{4.265 \times \sqrt{10^2 - 4.265^2}}{10 + \sqrt{10^2 - 4.265^2}} \right) \text{ (等式 X2.25), 或}$$

$U_{Force(mm)} = 0.0017 \text{ mm}$, 和

$$U_{Resol} = \frac{0.05}{\sqrt{12}} = 0.0144 \text{ mm} \text{ (等式 X2.14)}$$

因此:

$$U_{Mach(mm)} = \sqrt{0.002^2 + 0.0017^2 + 0.0144^2} = 0.01464 \text{ mm} \text{ (等式 X2.26), 和}$$

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

因此, 200 HBW 10/3000 硬度的硬度设备的 0.0101mm“误差”的不确定度为 0.0293mm。

以布氏硬度单位表示为:

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

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

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

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

因此, 硬度设备在 -0.997HBW 10/3000“误差”时的不确定度为 2.89 HBW 10/3000。尽管本评估是在硬度为 200 HBW 10/3000 的材料上执行, 可认为不确定度适用于 HBW 10/3000 刻度的整个中间范围。在 HBW 10/3000 刻度的低范围和高范围内, 必须进行上述计算, 同时还要校验其它布氏硬度刻度范围。

X2.8 不确定度计算程序: 布氏硬度测量值

X2.8.1 某一使用者获得的测量值的不确定度 U_{Meas} 可用于衡量测定材料的测量值与“真实”值的符合程度。对于本程序, 所有不确定度计算首先基于压痕直径值 (单位为 mm)。组合标准不确定度 $U_{Meas(mm)}$ 和扩展不确定度 $U_{Meas(HBW)}$ 都用压痕直径来表示。此时不确定度 $U_{Meas(mm)}$ 可转化为扩展不确定度 $U_{Meas(HBW)}$ (用布氏硬度值表示)。

X2.8.2 单个测量值—当测量单个硬度测量值的不确定度时, 标准不确定度 $u_{Meas(mm)}$ 的产生来源有: (1) u_{Repeat} , 由于设备缺少再现性而产生的不确定度 (等式 X2.10); (2) u_{Reprod} , 由于缺少重复能力而产生的不确定度 (等式 X2.13); (3) u_{Resol} , 由于压痕测量系统分辨率产生的不确定度 (等式 X2.14) 和 (4) u_{Mach} , 硬度设备“误差”测定产生的不确定度 (等式 X2.22 或等式 X2.26)。对于相应的硬度等级和布氏硬度刻度, 组合标准不确定度 u_{Meas} 通过将以上所述相应不确定度的平均值计算得出:

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

X2.8.3 平均测量值—当通过多个硬度测量值的平均值测定不确定度时，可在相同试样或多个试样上执行测定，标准不确定度 $u_{\text{Meas (mm)}}$ 的产生来源有：(1) $u_{\text{Re prod}}$ ，由于设备缺少再现性产生的不确定度基于多次测量的平均值（等式 X2.11）；(2) u_{Reprod} ，由于缺少再现性产生的不确定度（等式 X2.13）；(3) u_{Resol} ，由于压痕测量系统分辨率产生的不确定度（等式 X2.14）和(4) u_{Mach} ，硬度设备“误差”测定的不确定度（等式 X2.22 或等式 X2.26）。对于相应的硬度等级和布氏硬度刻度，组合标准不确定度 u_{Meas} 可通过以上所述相应不确定度按下列公式计算得出。

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

X2.8.4 以上讨论的单个测量值和平均测量值的测量不确定度只表示测量步骤的不确定度，同时该值与任何测试材料硬度不均匀性无关。

X2.8.5 平均测量值（作为材料平均硬度的评估方式）—测量实验室和加工设备通常要测量单个试验样本或产品的布氏硬度，以用于评估测试材料的平均硬度。通常来说，在试样表面执行多次硬度测量，然后报告硬度值的平均值，以作为材料平均硬度的评估方式。如果要求报告不确定度，该不确定度可用于衡量平均测量值与真实平均硬度的符合程度，此时的标准不确定度 $u_{\text{Meas (mm)}}$ 的产生来源有：(1) $u_{\text{Rep\&N}}(\text{Material})$ ，由于设备缺少再现性和由于材料不均匀产生的组合不确定度（等式 X2.13）；(2) u_{Reprod} ，由于缺少重复能力产生的不确定度（等式 X2.13）；(3) u_{Resol} ，由于压痕测量系统分辨率产生的不确定度（等式 X2.14）和(4) $u_{\text{Mach (mm)}}$ ，硬度设备“误差”测定的不确定度（等式 X2.22 或等式 X2.26）。符号 (Material) 添加到术语 $u_{\text{Rep\&N}}$ 中表示测试材料执行的硬度测量所确定的不确定度。对于相应的硬度等级和布氏硬度刻度，组合标准不确定度 $u_{\text{Meas (mm)}}$ 可通过以上所述相应不确定度按下列公式计算得出。

$$u_{\text{Meas(mm)}} = \sqrt{u_{\text{Rep\&N}}^2(\text{Material}) + u_{\text{Re prod}}^2 + u_{\text{Resol}}^2 + u_{\text{Mach(mm)}}^2} \quad (\text{X2.30})$$

X2.8.6 当报告的不确定度用于衡量材料的平均测量值与真实平均值的符合程度时，确保在相应测试位置执行次数足够的测量是非常重要的，以提供一种材料硬度发生任何变化时的合适抽样方法。

X2.8.7 对于以上所述的三种场合，扩展不确定度 $U_{\text{Meas (mm)}}$ 计算公式如下：

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

X2.8.8 为确定布氏硬度测量值的不确定度（以布氏硬度单位来表示） $U_{\text{Mach (HBW)}}$ ，按等式 X2.31 计算，然后使用公式 X2.3 转化为以压痕直径表示的数值，其中 $u_{\text{Meas (mm)}}$ 替代了 Δd 。

ΔH 计算值然后变为一个 $U_{\text{Meas (HBW)}}$ 新值，该值以布氏硬度单位来表示：

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

注 X2.15—因为不确定度总为正值，当使用等式 X2.32 时，已经删除了等式 X2.3 的首个符号。

X2.8.9 在本分析中，应使用 $k=2$ 的包含因子。该包含因子提供了大约 95% 的置信度水平。

X2.8.10 报告测量不确定度：

X2.8.10.1 单个测量值和平均测量值—当报告的测量值用于单个硬度试验或多组硬度试验，此时 U_{meas} 值应增加解释性说明，例如：“报告硬度值（或平均硬度值）的扩展测量不确定度按 ASTM E10 附录 X1 进行计算，包含因子=2，大约 95% 的置信度水平”。

X2.8.10.2 平均测量值（作为一种材料平均硬度的评估方式）—当要求报告不确定度来衡量材料的测量值和真实平均值的符合程度时，此时 U_{meas} 值应增加解释性说明，例如：“报告的测试材料平均硬度值的扩展不确定度是基于测量步骤和材料硬度不均匀产生的不确定度。不确定度按 ASTM E10 附录 X1 进行计算，包含因子=2，大约 95% 的置信度水平”。如果试验报告没有说明平均测量值的数量和执行测量的位置，此时应包括不确定度如何计算的简要描述信息。

X2.8.10.3 示例—在本例中，某个公司在其产品表面执行了一次布氏硬度测量，然后用便携式手动显示器（分辨率为 0.05mm）测量了压痕。压痕平均直径的测量值为 4.20mm 或者布氏硬度值为 103 HBW 10/1500。试验设备将能测量单个硬度值的测量不确定度。104 HBW 10/1500 的硬度在 HBW 10/1500 刻度的中间范围内。

在本例中，假如最近一份 HBW 10/1500 刻度中间范围的鉴定报告为：

U_{Repeat} : 0.032mm

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

偏差, $B_{(mm)}$: -0.029

在本例中，假设已经对硬度设备监测了一段相当长的时间，从等式 X2.13 可得出：

$U_{Repro} = 0.040\text{mm}$

其它不确定度计算为：

$$U_{Resol} = \frac{0.05}{\sqrt{12}} = 0.0144\text{mm} \quad (\text{等式 X2.14})$$

因此：

$$u_{Meas(mm)} = \sqrt{0.032^2 + 0.040^2 + 0.0144^2 + 0.054^2} \quad (\text{等式 X2.30}), \text{ 或}$$

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

同时由于 $B = -0.029\text{mm}$

$$U_{Meas(mm)} = (2 \times 0.0758) + ABS(-0.029) \quad (\text{等式 X2.31}), \text{ 或}$$

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

以布氏硬度单位表示为:

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

$U_{\text{Meas}(HBW)} = 9.3 \text{HBW } 10/1500$ (适用于单个产品上获得的单个硬度测量值)

X2.9 不确定度计算程序: 标定试块鉴定值

X2.9.1 用于仲裁试块校准的标定实验室必须确定报告的试验平均硬度鉴定值的不确定度。该不确定度 U_{cert} 提供了一种衡量试块的硬度鉴定值和“真实”平均硬度值的符合程度的方式。

X2.9.2 试块采用某一平均硬度值进行鉴定, 采用的平均硬度值依据试块表面执行校准获得的测量值为基础。当测量某一产品的平均硬度时, 本分析本质上是与 X2.8.5 给出的分析一致。在上述场合, 产品即为一个校准过的仲裁试块。

X2.9.3 对于本程序, 所有不确定度计算起初都取决于压痕直径值 (单位为 mm)。组合标准不确定度 $u_{\text{cert}(mm)}$ 和扩展不确定度 $U_{\text{cert}(mm)}$ 此时可转化为以布氏硬度值表示的某一扩展不确定度 $U_{\text{cert}(HBW)}$ 值。

X2.9.4 试块平均鉴定值的标准不确定度 $u_{\text{cert}(mm)}$ 产生来源有: (1) $u_{\text{Rep\&NU}(Calib.Block)}$, 由于标定设备缺少再现性和由于校准试块不均匀产生的组合不确定度 (等式 X2.12), 该不确定度可通过在试块上执行校准测量确定得出; (2) u_{Reprod} , 由于缺少重复能力产生的不确定度 (等式 X2.13); (3) u_{Resol} , 由于压痕测量系统分辨率产生的不确定度 (等式 X2.14) 和 (4) $u_{\text{Mach}(mm)}$, 标定设备“误差”测定的不确定度 (等式 X2.22 或等式 X2.26)。符号 (Calib.Block) 添加到术语 $u_{\text{Rep\&NU}}$ 中表示校准试块执行的校准测量所确定的不确定度。

X2.9.5 对于每个布氏硬度刻度的硬度等级, 组合标准不确定度 $u_{\text{cert}(mm)}$ 和扩展不确定度 $U_{\text{cert}(mm)}$ 可通过以上所述相应的不确定度按以下公式计算得出:

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

和

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

X2.9.6 为确定试块硬度平均鉴定值的不确定度 (以布氏硬度单位来表示) $U_{\text{Cert}(HBW)}$, 按等式 X2.34 计算, 然后使用公式 X2.3 转化为以压痕直径表示的数值, 其中 $U_{\text{Cert}(mm)}$ 替代了 Δd 。 ΔH 计算值然后变为一个 $U_{\text{Cert}(HBW)}$ 新值, 该值以布氏硬度单位来表示:

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

注 X2.16—因为不确定度总为正值, 当使用等式 X2.35 时, 已经删除了等式 X2.3 的首个符号。

X2.9.7 在本分析中, 应使用 $k=2$ 的包含因子。该包含因子提供了大约 95% 的置信度水平。

X2.9.8 报告测量不确定度— U_{cent} 值作为仲裁试块报告的平均鉴定值的不确定度的评估方式。报告值应增加一份说明以定义不确定度适用的布氏硬度刻度和硬度等级，附带一份解释性说明，例如：“试块的鉴定值的扩展不确定度按 ASTM E10 附录 X1 进行计算，包含因子=2，大约 95%的置信度水平”。

X2.9.9 示例—试块标定实验室完成 100 HBW 10/500 硬度范围的某一试块校准之后，然后测量压痕，压痕测量系统分辨率为 0.01mm。实验室必须确定试块平均鉴定硬度的不确定度。100 HBW 10/500 的硬度被认为是在 HBW 10/500 刻度的高范围之内。五次校准测量结果如下：

平均直径长度：2.53, 2.50, 2.50, 2.51 和 2.51mm

计算的平均压痕直径：2.51mm

计算的硬度值：97.8, 100, 100, 99.4 和 99.4 HBW 10/500

计算的平均硬度值：99.4 HBW 10/500

因此：

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

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

在本例中，假如最近一份 HBW 10/500 刻度中间范围的直接校验报告为：

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

偏差, $B_{\text{(mm)}}$: -0.004

在本例中，假设已经对硬度设备监测了一段相当长的时间，从等式 X2.13 可得出：

$U_{\text{Reprod}} = 0.004 \text{ mm}$ (适用于高范围的 HBW 10/500 刻度)

其它不确定度计算为：

$$u_{\text{Resol}} = \frac{0.01}{\sqrt{12}} = 0.0029 \text{ mm} \quad (\text{等式 X2.14})$$

因此：

$$u_{\text{Cert(mm)}} = \sqrt{0.0055^2 + 0.004^2 + 0.0029^2 + 0.015^2} \quad (\text{等式 X2.33}), \text{ 或者}$$

$$u_{\text{Cert(mm)}} = 0.167 \text{ HBW}10/500$$

同时由于 $B = -0.004 \text{ mm}$

$$U_{\text{Cert(mm)}} = (2 \times 0.167) + \text{ABS}(-0.004) \quad (\text{等式 X2.34}), \text{ 或者}$$

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

以布氏硬度单位表示为：

$$U_{\text{Cert(mm)}} = 0.0374 \text{ mm} \times \left(\frac{99.4 \times \left(10 + \sqrt{10^2 - 2.51^2} \right)}{2.51 \times \sqrt{10^2 - 2.51^2}} \right) \quad (\text{等式 X2.35}), \text{ 或}$$

$$U_{\text{Cert(HBW)}} = 3.0 \text{ HBW}10/500 \quad (\text{适用于单个校准试块的硬度鉴定值。})$$

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，100Bar 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 (e-mail)；或通过 ASTM 网站 (www.astm.org)，可获得本标准的单独再版本 (单一或多份拷贝)。