

金属硬度试验方法介绍

前言

这是一篇普及金属硬度试验的基础知识的文章在这篇文章中，虽然没有在技术方面进行详细地推理和解释，但是，对于硬度计的操作人员来说却是非常有益的。

如果需要进行深入的探讨，请电话联系我们的。

题目索引

序言

1.洛氏原理

标准的洛氏硬度

表面洛氏硬度

各种洛氏标尺的应用

表3, 洛氏硬度试验中, 使用金刚石压头时, 样品最小可测量的厚度

圆柱面的解决办法

表4, 采用洛氏金刚石压头, 圆柱面硬度值的修正

洛氏原理的拓展

2.布氏原理

布氏硬度试验的定义

表5, 布氏硬度试验和 F/D^2 值的关系

各种布氏硬度试验

表6, 布氏硬度试验, 样品最小可测量的厚度

布氏原理的利与弊

按照洛氏加载原理, 采用布氏压头进行布氏硬度试验

3.维氏原理

维氏硬度试验的应用领域

表7, 维氏硬度试验, 样品最小可测量的厚度

维氏原理的利与弊

4.肖氏(金属)及里氏原理

5.努氏原理

6.各种硬度值之间的比较

7.标准硬度块

序言

不论什么类型的硬度计，只要它能够合格出厂，对于大多数仪器来说，都是没有必要怀疑的。

我们可以用几百克到3000kg(29'430 N)的载荷进行硬度测试。在实验室中，我们甚至可以采用1克的载荷来进行测试。所以，我们可以测量各种尺寸、各种表面硬化层深度及各种硬度的样品。

目前通用的试验原理有5种，分别是布、洛、维、努氏及肖氏方法（在国内，里氏硬度经常被采用，但是，由于其原理上的缺陷，影响因素较多，使得其在生产实际中的应用受到了很大的限制，见下面相关章节）。同时也规定了一定数量的检测标尺。因此，不论任何一个检测人员，不论其在任何地方进行测试，都不会面临标准不统一的问题。

电子技术的引入导致了硬度计性能的极大提高和改进。

事实上，由于采用电子技术，使得硬度计的精度和可靠性都得到了提高。同时，使得硬度计在数据的存储、统计分析、图形显示和资料的提供等方面成为了可能。在遵照以往的硬度测试原理的同时，电子技术被成功地运用在测试数据的读取和仪器功能的控制等方面。

在这篇文章中，我们将详细地进行讨论关于洛氏、布氏和维氏硬度测试原理的各自的优势和局限性。

在讨论硬度测试原理和硬度计之前，我们需要明确在硬度测试中，以下的特征内容是非常重要的：1) 载荷，2) 压头，3) 保压时间，这就是贯穿硬度测试中的关键因素，我们通常将其称为“硬度测试三要素”。当然，对于硬度计而言，精度、重复性、对应用领域及样品的要求等也是十分重要的，这些指标直接体现硬度计的优劣。

1) 试验载荷：一般来说，为了获得更高的精度，应该取更高的试验载荷来进行硬度测试，这是因为样品的表面通常在进行处理的时候，容易产生脱碳的现象，导致硬度的变化，而心部的变化较小。另外，使用较大的载荷，其测试结果受样品表面光洁程度的影响就要小。然而，为了避免得到错误的结果，加载的载荷也不允许大到使得压头压入的深度大于被测样品厚度或硬化层深度的十分之一。载荷的选择一般是按照材料的类型来分的。一个典型的例子：铸铁应采用大载荷。

2) 压头：硬度计压头的材质一般为金刚石或硬质合金压头，当然，对于某些HR标尺，也采用钢球压头。对于布、洛、维氏及努氏压头，它们都有自己的形状和尺寸。通常，压头的应用应同试验载荷相配合（具体见下面的章节）。

3) 保压时间：作为静载荷的硬度测试方法，载荷的加载速度和保压时间都有一个明确的要求。之所以对保压时间做出明确的规定，主要同金属材料的屈服过程有关。保压的时间越长，压痕的变形越彻底，测试的结果才能够稳定。

关于硬度计的优劣，一般说来有以下几个方面的因素：

1) 精度：精度同是否选择了合适的试验方法、样品的表面状况、载荷保压时间的稳定性、仪器是否采用精度很好的标准块进行准确的校准、测试的数据是否足够多等有关。通常，采用静载荷的仪器要比采用动载荷的精度要高。事实上，后者的精度要受样品的质量和硬度的影响。当采用非常低的载荷时，仪器的精度将非常难于保证。

2) 重复性：硬度计的整体工作的稳定性直接的反应就是其重复性的好坏。当然，硬度测试方法也影响到其测试结果的重复性。影响硬度结果的因素越多，重复性越差。

3) 各标尺的应用领域：超过硬度50HRC（相当于485HB30）的材料一般用金刚石压头代替钢球或硬质合金球头（钢球用于较软的材料）

布氏硬度没有采用极硬的金刚石压头，所以不能用来检测经过调质热处理后的钢件。而对于洛氏硬度，由于它即采用锥型金刚石压头也采用钢球压头，所以的应用范围就要广的多。维氏硬度试验，采用凌锥型的金刚石压头，所以，它的应用领域更广。但是，一般来说，在实验室中进行维氏硬度试验多于在生产车间现场。

4) 对样品的要求：样品可以被放到硬度计下面，也可以把硬度计放到样品的上面进行试验。第一种是指台式硬度计，在试验中，它可以托举起甚至夹住样品，这种硬度计适合于体积较小的试样。第二种仪器是指便携式硬度计，这些仪器可以将试样锁紧，或者用在大的和复杂的样品上。

还有一些其它类型的测量样品表面硬度的方法，我们将逐步进行介绍。

1.洛氏硬度（HR）原理

下面我们要谈洛氏原理。为了使说明更直观，我们采用了图一的几幅图片，用千分表来显示压头压入的数值。

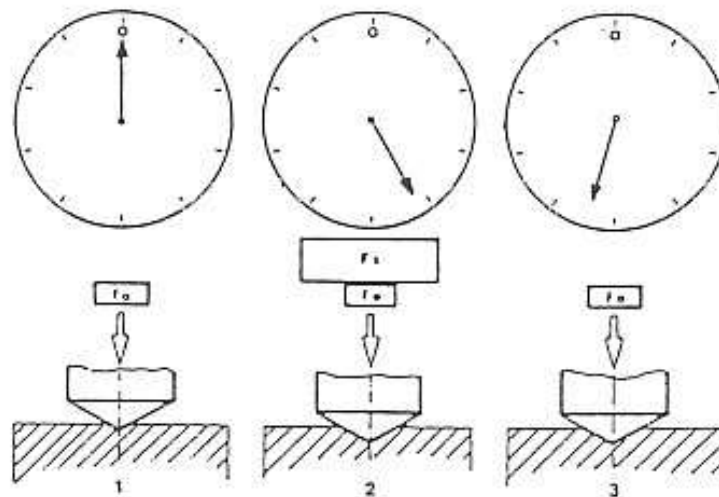


图1 洛氏原理图

1) 在初载荷 F_0 的作用下，压头压入试验表面。这时，在样品表面，产生了一个微小的压痕。将千分表重新归零。

2) 将载荷 F_1 缓慢平稳地加载到原先的载荷 F_0 上，这个时候的总载荷为工作载荷。相对应样品的硬度，压头将压入了一个深度。

这时，我们必须等待一段时间来保证压头完全压入（硬的金属需要的时间短，而软的金属须停留的几秒钟），这个过程就叫：保压。千分表的指针显示压头压入的过程。

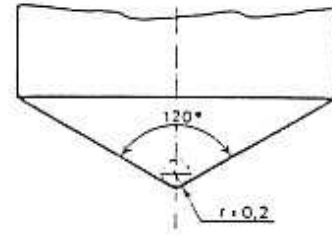
3) 在将载荷 F_1 去除后，只剩下预载荷。这时，去除由于压头在载荷下本身引起的弹性变形，压头处于另一个压入深度。这个千分表将显示出工作载荷和预载荷下压头压入深度的变化。

对于洛氏原理，不论是常规洛氏或者是表面洛氏方法，其压头、预载荷和度量单位都是标准的。

1.1 常规洛氏硬度

通用的洛氏硬度压头是一个 120° 圆锥型金刚石，压头顶点的圆弧半径为 $0,2\text{ mm}$ （见图2），另外还有几种硬质合金及钢压头，半径分别是 $1/16'' / 1/8'' / 1/4'' / 1/2''$.英寸

FIG. 2 圆锥型金刚石压头剖面图



- 预载荷为10kg(98,1 N).
- 试验载荷（预载荷+附加载荷）为60 - 100 - 150 kg (588,4 - 980,7 - 1471 N).

按照DIN标准的规定，对于洛氏、布氏及维氏硬度试验，所有的载荷应该都用N（牛顿）来表示，但实际上，我们通常采用kg来表示。

标准的洛氏硬度的度量单位是0,002 mm。每增加或者减少0,002 mm，硬度值才有了1个硬度单位的变化。

因此，由于材料硬度值的提高，使得载荷和预载荷之间的压痕深度的差值减小。洛氏硬度是从100（金刚石压头）或者130（球压头）按照每增加0,002 mm就减少1硬度单位来计量的。例如：用金刚石压头得到的压痕差值深度为0,082 mm，我们就知道样品的洛氏硬度是： $100 - (82 : 2) = 59$ Rockwell

在用指针来指示硬度的仪器中，表盘一周刻度为0,2 mm，被划分为100格。表盘中有2个刻度：一个是黑色的，它是用来表示采用金刚石压头的标尺；一个是红色的，用来表示球压头的标尺。

设置0点时，都必须按照黑色的数值来确定（0是黑色130是红色）。

当使用数显的洛氏硬度计时，较先进的数显硬度计不用进行0点设置，其结果将在试验结束后全部显示在显示器上。

使用不同的压头和载荷，可以得到一系列的硬度标尺，每一个的条件，如下所示：

表1 - 标准洛氏标尺

载荷 kg	洛氏标尺				
150	C	G	K	P	V
100	D	B	E	M	S
60	A	F	H	L	R
压头	金刚石	ball 1 / 16" 钢球1 / 16"	ball 1 / 8"	ball 1/4"	ball 1/2"
数值	黑	红			

例如：使用一个金刚石压头，采用150kg载荷，我们就把它定义为HRC。H表示普通硬度测试，R表示洛氏原理，C指C标尺。硬度值标注在第一个字母之前。

如：60 HRC

1.2 表面洛氏硬度

表面洛氏硬度测试也是采用同标准洛氏试验一样的圆锥型金刚石压头，然而，尽管压头的形状完全一样，但是，由于表面洛氏采用的载荷很小，因此，一个很小的误差将影响试验的结果。所以，压头的角度精度和尖端圆弧半径都要精确得多。

- 预载荷为3 kg(29,43 N);,
- 工作载荷（预载荷加附加载荷）为15-30-45 kg. (147,1 - 294,2 - 441,3 N).

表面洛氏硬度的度量单位是0,001 mm。

相对于标准洛氏硬度原理，无论是金刚石压头或是球形压头，表面洛氏硬度的零校准也是将硬度值划分为100度，事实上表盘给出了的是一个连续的读数。表盘的一圈为0,1 mm，被划分为100个格。例如：不论用的是什么压头，压痕深度差为0,082 mm，这时，表面洛氏硬度值就为： $100 - 82 = 18$ Superficial Rockwell。

表面洛氏硬度标尺包括不同的压头和载荷，用表格表示各数字和其它信息如下：
表2-表面洛氏标尺

载荷 kg	表面洛氏标尺				
	45	45 N	45 T	45 W	45 X
30	30 N	30 T	30 W	30 X	30 Y
15	15 N	15 T	15 W	15 X	15 Y
压头	diamond	ball 1/16"	ball 1/8"	ball 1/4"	ball 1/2"

1.3 不同的洛氏标尺的应用领域

就像我们知道的那样，总体上讲，选择洛氏硬度标尺还是表面洛氏硬度标尺，主要看材料的硬度和厚度，以及样品的硬化层厚度（如：表面处理的渗氮等）

材料的软硬程度决定对压头的选择，圆锥型金刚石压头或者球压头。

圆锥型金刚石压头通常用于调质钢和硬金属，一般不推荐用于强度低于785 N/mm²的金属。

球压头常被用在软的材料上，软材料要求用大的直径的压头和低载荷。例如：使用HRB标尺(1/16"球压头 - 100 kg 载荷)就不适合应用在符合HRL标尺（1/4"球压头 - 60 kg 载荷）的软金属上。

事实上，大的球压头，只用在如塑料之类的软材料上。

采用洛氏原理，可以在恒定载荷下，测试塑料的硬度。

当试验样品太薄或者硬化层很浅，那么，压痕所影响的其周围的区域就非常大。假如这种变形达到了样品变形的极限，那么，测试的结果将是错误的。因此，样品的厚度决定了载荷的选择，载荷必须保证其所引起的变形小于样品的最小厚度，

对于每一种硬度试验，都存在最小可测量厚度。许多情况下最小测量厚度取决于原料的种类和热处理状态。一般来说，对于金刚石压头，最小可测量厚度至少要达到压痕深度的10倍（参照表.3）。而对于球形压头，最小可测量厚度至少要达到压痕深度的15倍。

同样对于硬化层（如焊接等），事实上，通常用HRA标尺（圆锥形压头,载荷60kg）来满足焊接层的厚度的要求。

表3- 金刚石压头洛氏硬度试验最小可测量厚度

F kg	HRC					
	20	30	40	50	60	70
15	0.41	0.33	0.26	0.19	0.14	0.09
30	0.69	0.58	0.47	0.36	0.26	0.17
45	0.91	0.77	0.63	0.50	0.37	0.25
60	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
150	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0	0.8

1.4 洛氏硬度最常用的标尺

- HRC (圆锥金刚石压头 - 载荷150 kg)这是最常用的洛氏标尺，经常用来检测中等硬度的或者高硬度的以及较厚的硬化层的硬度。

然而，这也会引起一些误解，如：在材料很薄而无法承受150kg载荷的时候，我们如果还用HRC，则是错误的。

这时，另外一些洛氏标尺就必须被采用。它们和HRC之间是可以换算的，我们在下面可以看见它们之间的换算关系表。但是，换算的关系我们一般不建议采用，除非进行大量的比对试验，才能保证这种换算要尽可能的准确。

- **HRA**（圆锥金刚石压头，60kg载荷）这个标尺通常是被用来测量焊接体和硬金属片的硬度。由于碳化物高的硬度，容易引起金刚石破裂，所以，一般不用大的载荷。
- **HRB**（硬质合金球压头1/16"，100kg载荷）在欧洲，一般用在黄铜（铜和青铜合金）等金属上，在美国，用在强度低于686 N/mm²的铁合金上。

1.5 表面洛氏硬度或不常用的洛氏硬度标尺

标尺HRN15N - HR 30N - HR 45N (金刚石压头)是用来检测薄的表面硬化层；标尺HR 15T - HR 30T - HR 45T (1/16"球压头)是用来检测薄板。

洛氏硬度计都可以直接进行布氏硬度读数，见相关章节

1.6 圆柱表面硬度值的修正

大家都知道，测量圆柱表面的硬度同测量平板的不一样。直径较大的这种差异不太明显，但是，对于小直径的样品，我们就必须用一个修正值来把仪器所得的结果进行修正，见表4

表4 采用金刚石压头测量圆柱表面时，硬度的修正（应该加上仪器的读数）

		圆柱的直径mm						
		3	6	10	12	15	20	25
VALUES HR C - D - A	80		0.5	0.5	0.5	0	0	0
	70		1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0
	60		1.5	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5
	50		2.5	2.0	1.5	1.0	1.0	0.5
	40		3.5	2.5	2.0	1.5	1.0	1.0
	30		5.0	3.5	2.5	2.0	1.5	1.0
	20		6.0	4.5	3.5	2.5	2.0	1.5
VALUES HR 15N - 30N - 45N	90	0.5	0.5	0	0	0	0	0
	80	1.0	0.5	0.5	0.5	0	0	0
	70	2.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
	60	3.0	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5
	50	3.5	2.0	1.5	1.0	1.0	1.0	0.5
	40	4.5	3.0	2.0	1.5	1.0	1.0	1.0

1.7 洛氏硬度标尺的优势和不足

1.7.1 优势：

洛氏硬度原理是非常受欢迎的，同时也是唯一一个允许进行直接读数而不像布氏和维氏那样用显微镜进行读数的标尺。因此，就可以使得仪器的自动化程度都得到提高，也就使得测试速度得到了提高。因为这种仪器在试验时不受人的技能的影响，所以，洛氏硬度计是非常普及。

每种硬度试验都要求将测试面进行打磨，但是，相比较而言，洛氏试验对表面的要求最小。

1.7.2 不足：

这种仪器一个最大的缺点是它的载荷在150 kg和15 kg之间，相差十倍。而在车间和铸造车间里（除了实验室），硬度试验的载荷经常要求从3000 kg. to 1 kg.。举例来

说，洛氏标尺适合于铸铁和钢板的硬度测试。但是，对于0,15 mm以下的薄板，它就不适用了。

为了克服这些局限性，洛氏硬度计所采用的载荷和初载荷被人为地增加了许多低的档。当然，对于低载荷的洛氏标尺，目前还没有一个明确的标准。

对于一些重要的材料，如一些新钢种，尽管有很多标尺可以使用，不见得非得采用洛氏硬度。比如说对于一些硬度较低的样品，尽管布氏的方法比较麻烦，但我们一般建议采用布氏硬度标尺。当然，如果采用洛氏硬度的深度测试原理，同时采用布氏载荷和压头，那么我们能够将布氏硬度变得非常有效和实用（见相关标题）。

1.8 洛氏原理中的影响因素

传统的洛氏硬度计有一个不利的缺点，那就是因为它的精度是受它的压头与样品及下面的支撑的紧密地接触状况的影响（通常称支撑为砧板）。

当去掉附加载荷后回到预载荷状态时，这时的弹性变形已经消除（见洛氏原理），剩下的变形只有千分表记录的压痕了。

这样的情况只有在样品同支撑之间完美地结合时才会实现，也就是说样品不允许有任何弹性变形。

假如，在样品背面有一些油或油脂等，那么，样品将在载荷的作用下发生一个微小的变形，也就是增加了压入的深度，于是就减小了硬度值。

完全理想的试验条件是不可能存在的，因此，在热处理车间或工厂，这是一个明显的缺憾。

为了克服这个问题，目前先进的洛氏硬度计（见产品说明）如图3，在压头装置上有个支撑台压在试样表面。因此，任何砧板、加载丝杠、机架或样品的移动都不会影响试验结果。这样的装置对布氏和维氏硬度试验都是有利的。

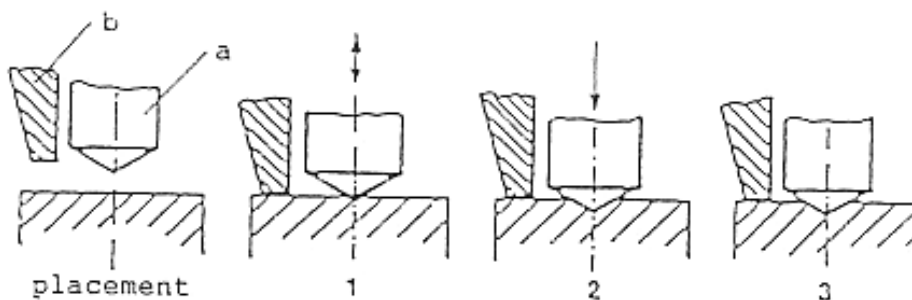


图3

把样品放置在压头(a)下面，要求样品的面积超出压头保护套(b)的尺寸。

- 1) 压头(a)和保护套(b)同时下压到达试验表面时，压头退回，保持预载荷的压力。这时零校准自动完成。
- 2) 施加工作载荷
- 3) 移出工作载荷，压头的位置变化从(a)到(b)。

只要样品具有固定的屈服强度，那么(a)和(b)之间的距离就是恒定的，避免了原始洛氏原理带来的误差。

这个原理也可以用在表面洛氏原理中。

在这类仪器中，还有一个装置，这个装置没有同压头保护套连在一起，而是安装在机架上，这个装置叫夹持套。在许多场合，它是用来使得试样夹紧，减免了对一些不对称工件所需要的支撑。当然，如果不需要的话，它可以很容易地拆除。

在便携式硬度计上，这个装置叫支撑套，它是可更换的，由于有了这个支撑套，使得能够为试验提供一个稳定的支撑。

2.布氏硬度(HB)原理

布氏硬度要求使用硬质合金球作为压头(压头的直径以毫米为单位，有一系列数值，洛氏使用英寸)采用特殊的载荷和特定的加载时间(通常为15秒)，在平而且光洁的样品的平面上进行试验。使用投影仪或者显微镜来测量圆形的压痕直径。假如压痕的形状不够圆整，那么我们必须算出其平均值。

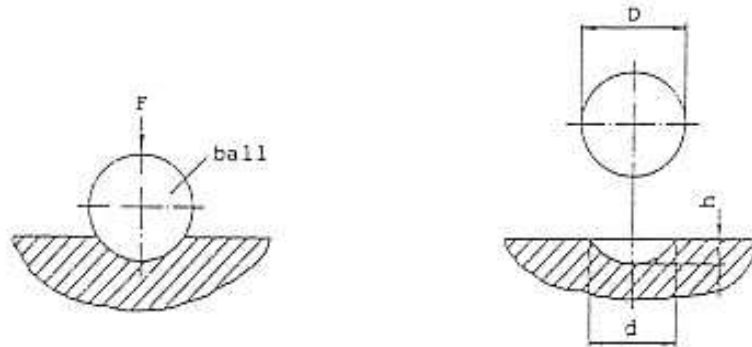


Fig. 4- Drawing of the Brinell principle
布氏原理图

布氏硬度值是由载荷和压痕通过以下算式得到的：

$$HB = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

F表示载荷(kg)，D指压头直径(毫米)，d表示压痕平均直径(毫米)

从公式中可以看到，如果知道了载荷，压头直径和压痕直径，那么我们就可以直接得到布氏硬度值。

- 通常采用的压头直径为：1/2,5 /5 /10 mm.
- 载荷为：3000/1000/750/250/187,5/125/62,5/31,25/kg (29420 /9807 /7355 /4903 /2452 /1839 /1226 /612,9 /306,5 N).

进行布氏硬度试验要考虑以下几点：

1) 按照标准要求，压痕的直径必须是压头直径的0,25 到0,6倍之间。为了满足这个要求，压头和载荷之间就必须有一个固定的关系(试验条件)。对应着不同的材料，有着不同的试验条件。

对于一个软的材料，如果采用一个大的载荷，同时采用小直径的压头，那么压痕将会非常深；反过来，对于一个硬的材料，如果采用小的载荷和大直径的压头，那么压痕直径将会小于压头直径的0,25，这将导致压痕无法准确地测量。

2) 在布氏试验的定义中，用一个载荷和压头直径的特定关系量 F/D^2 来定义每一个布氏试验。这个比率通常为30/ 10/5 /2,5（对于特别软的金属，也可以是更低的比值）例如：用一个直径为10 mm的压头，采用3000kg的载荷，这个 F/D^2 为 $3000 : 10^2 = 30$

用直径为5 mm的钢球，采用125kg的载荷，比率为5；

越硬的金属，采用的比率值更高。

3)因为使用不同的 F/D^2 会得到不同的试验结果，所以 F/D^2 非常重要。如果对同一个材料，使用10mm的钢球和1000kg的载荷（ F/D^2 为10）和使用10mm的钢球和500kg的载荷（ F/D^2 为5）所得到的结果是不一样的。而且，相同的试验条件下，只要材料没有不同的硬化层，那么，其所得到的硬度值应该是可比的。

2.1 布氏试验的命名

布氏硬度表示方法的意义：**H**是指硬度，**B**是指布氏，在它们之后为球头直径(mm) 载荷（kg），和保载时间（秒）。

例如：305 HB 2,5/187,5/15.

对于便携式的仪器来说，它们没有标准的载荷，所以，一般都是按照 F/D^2 来定义试验和标尺。如305 HB 30.

不同的试验标准的 F/D^2 见下表5

表5 布氏硬度试验条件 F/D^2

球头直径 mm	载荷kg			
	10	3000	1000	500
5	750	250	125	62.5
2.5	187.5	62.5	31.2	15.6
试验条件	HB 30	HB10	HB5	HB 2.5

当采用硬质合金压头时，将用HBW来表示

2.2 各种布氏硬度标尺的应用

从上一节我们知道，由材料的硬度值可以反推出比率值 F/D^2 。一旦这个比率建立后，载荷的确定就要遵照以下原则：

1)最小厚度原则 考虑到洛氏硬度原理的要求，最小可测试厚度必须大于压痕深度的8倍，见表6

表6布氏 硬度试验试样可被测量的最小厚度

● mm	F kg	HB								
		40	60	80	100	150	200	300	400	500
2.5	187.5	HB/30			2.40	1.60	1.20	0.80	0.60	0.48
5	125	2.0	1.3	1.0	0.80	0.53			HB/5	HB/5
10	1000	8.0	5.3	4.0	3.2	2.1	1.6		HB/10	HB/10
10	3000	HB/30			9.6	6.3	4.8	3.2	2.4	1.9

2) 材料的品种 材料的品种不同，强度高的材料所采用的载荷高。

3) 容易测量压痕直径 不论是用显微镜还是投影仪，大的压痕都是比小的压痕容易检测。

这里列举一些不同的材料的布氏硬度试验标尺：

- **钢：**我们总是采用HB30标尺。由于布氏硬度同抗拉强度有一个准确的数学关系（碳钢的系数为0,36，铬和铬锰及镍铬合金钢为0,34），所以布氏硬度对于钢来说是十分重要的。

例如： $225 \text{ HB } 30 \times 0,36 \times 9,807 = 794,3 \text{ N/mm}^2$

这是唯一的不破坏试样而得到抗拉强度的办法。但是，对于调质钢，由于没有采用金刚石压头，所以，布氏硬度不适合于那些抗拉强度超过 1765N/mm^2 的淬火和调质钢。而对于较软的铸铁，我们一般控制其压痕直径不超过钢球直径的一半的情况下，我们建议采用HB30

- **铸铁：**通常所设标尺为HB30。在达到采用3000kg载荷时所允许的最小厚度时，建议采用3000kg的载荷。
- **有色金属及合金：**一般采用HB10或者HB5，对于特别软的材料，采用HB 2,5.
- **铜合金：**青铜采用HB10（特别硬的采用HB30）和HB5，铜管乐器采用HB10

2.3 布氏硬度原理的优势和不足

2.3.1 优势：

布氏硬度试验最主要的优势是采用大的载荷和大尺寸的压头，这就使得对仪器的精度要求不高，同时也更能很好地克服材料组织的不均匀性问题。此外，压痕的尺寸可以用简单的显微镜甚至是放大镜就能获得。同时，布氏硬度方法可以使得当样品放置的不太好的时候，也能够获得很精确的试验结果，不像洛氏方法那样对样品位置的敏感性那么高。微小的偏差不会影响布氏硬度的数值。

布氏硬度HB30标尺有一个很好的应用价值，对于每一种材料，都存在一个系数，布氏硬度值乘以这个系数，就可以得到相应的抗拉强度极限。

2.3.2 不足：

第一，对于使用者来说，测量最终的收缩后的压痕（尤其是各向应力不同的样品），最大的困难是使用显微镜来用目力测量的精度不够准确，容易导致误差。第二，即使使用大的载荷，样品的表面状况对硬度测试结果的影响也较大。只有在精确地打磨试样表面的条件下，才能得到精确的测量结果。第三，采用光学的方法，无法实现直接数显。由于这些原因，使得布氏硬度试验是慢的，不适合用在生产线上。

为了克服这些问题，最好的办法是按照深度原理，同时采用布氏载荷和压头(见下面的章节)，必须注意的是：圆柱表面是不能测试的，因此，在进行测试之前，必须打磨出一个平面。

2.4 采用布氏压头和载荷而按照深度原理来定义试验

就像前面所说，为了克服布氏的不足，同时也提高洛氏硬度计的应用范围，通常，我们按照深度原理，采用布氏压头和载荷来进行硬度试验。事实上，许多硬度计除了具有洛氏载荷外，也还有62,5 - 125 - 187,5 kg (612,9 - 1226 - 1839 N)的布氏来进行布氏试验。压痕的测量是按照深度原理的预载荷深度和工作载荷深度差来计量的，而不是按照布氏原理来测量压痕直径。其结果直接在显示器上或者在千分表上以类似于洛氏的数值进行显示。然后，以表格的形式转换为布氏硬度值。当然，这不是传统的布氏试验，因为它不是用光学仪器来测量压痕直径的，但是，它却有着采用压痕测量方式的布氏硬度所无法达到的稳定性和实用性。事实上，这样布氏的结果都是通过比对试验所得到的对照表转换的。对于不同的材料，转换的关系是不同的（例如：钢的转换关系不同于铸铁）。

然而，这种测试方法是非常有效的，它可以使得生产线上的布氏硬度计避免使用光学的仪器来测试压痕直径。这也可以不用为了光学检测而对试验表面进行平面处理。同

时，还带来一个好处，对于钢来说，可以采用特殊的经过校准的标尺来直接读取材料的强度极限。

为了获得较好的生产现场试验精度，这类仪器可以自己建立一个新的和临时的布氏标尺。这个标尺是使用光学仪器在标准样品上测量后经过曲线修正而得到的。

3.维氏硬度（HV）原理

这个原理同布氏原理有些相似。但是，它采用的是菱形的金刚石压头，压头的两个对应平面之间的夹角为 136° 。在测试时，两个对角线都要测量，取它们的平均值。

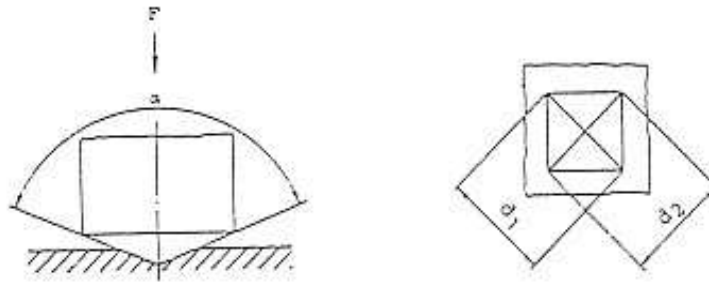


图5 维氏原理图

类似于布氏硬度，维氏硬度是以载荷和压痕的下面的关系式来得到的

$$HV = \frac{2F}{d^2} \cdot \frac{\sin 136^\circ}{2} = 1,854 \cdot \frac{F}{d^2}$$

F代表载荷，d代表对角线长度（或者是平均长度）毫米值。很明显，为了得到维氏硬度值，也应该建立一个对照表。

维氏载荷是一个系列，从5g一直到150kg。但常用的是1/2/5/10/30 kg (9,81/19,62/ 49,05/ 98,10 /294, 30 N)。当然，对于小于1kg (9,81N)的载荷，基本上都是应用在金相试验室中。

3.1 不同的维氏载荷的应用领域

维氏硬度原理采用的是菱形的维氏压头。维氏硬度值就是指压痕对角线每平方毫米的压力值。不同的载荷下，维氏硬度值是可以相互比较的。如：对于相同的材料，用30 kg (294,30 N) 和 1 kg (9,81 N)得到的试验结果是相符的（当然，这要求材料是均匀的，并且没有硬化层）

即使对于硬化层，维氏硬度也是容易测量的，逐渐增加载荷，建立表面处理厚度曲线，如氮化层曲线。假设材料是均匀的，当载荷将达到200g的时候，硬度值也将有一个增加。这个现象就叫表面硬化。

在维氏试验中，最小可测量厚度为压痕对角线的1.5倍（在DIN标准中规定为压痕深度的10倍）。

表7 最小可测量厚度

F kg	HV								
	20	50	100	200	300	400	600	800	1000
0.200	0.19	0.12	0.09	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03

1	0.43	0.28	0.19	0.14	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
2	0.62	0.39	0.28	0.19	0.16	0.14	0.12	0.10	0.09
5	1.0	0.62	0.44	0.31	0.25	0.22	0.18	0.15	0.14
10	1.4	0.87	0.62	0.43	0.36	0.31	0.25	0.22	0.19

维氏硬度的命名是HV，H表示硬度，V表示是维氏原理，后面是载荷。例如：350 HV10

维氏硬度主要用在那些需要小载荷的地方，如小样品、薄样品及表面处理的样品。

但是，由于压头的尺寸及载荷的原因，对于像铸铁之类的组织不均匀的材料，不适合采用维氏硬度试验。

3.2 维氏原理的优势和局限

维氏原理最大的优势是它具有从很低的硬度到极高的硬度的标尺。因为这个原因，它被认为是试验室中的基础硬度试验。最终的压痕表现材料的特性。按照压痕测试原理，它不受试验方式的影响。

维氏硬度值不同于洛氏硬度，甚至比布氏值还要大，它有着一个明确的含义，它表示一个作用于菱形压痕上的单位载荷。

因为压痕的测量要求采用光学显微镜的方法，所以，维氏硬度的局限性就在于它的试验速度。

由于被测表面必须仔细地打磨和抛光处理，所以微小的倾斜将导致压痕的不规则，因此，压头的轴线对被测表面的垂直度变得非常重要。这样，维氏硬度计就不适合用在生产线上。对于一些材料，压痕的分界线非常不清晰，或者菱形压痕的角翘起等原因，以至于维氏结果无法得出。所以，维氏硬度不适合车间而仅仅适合于试验室中对条件非常好的样品进行试验。

4.肖氏（HS）及里氏（HL）原理

肖氏硬度是基于以下的原理：一个钢球（或者是带球型头的棒）从一定高度落下，碰撞到被测物体的表面，测量钢球回弹的高度，来表示被测物体的软硬程度。这种方法非常少用，因为对样品的质量和表面处理的光洁度等要求非常严格。同时，也对钢球下落时的轴线是否垂直被测物体表面等因素有严格的要求。这种标准经常用来测量一些大型的圆柱工件，如轧辊等。

里氏硬度测试是采用一个带有硬质合金球头的冲击体撞击样品表面，测量其距离样品1mm处的反弹速度与入射速度之比，从而获得相应的硬度值。这种方法可以使得硬度计的体积变得很小，作为内部质量控制的实用仪器，得到了很好的推广。但是由于里氏硬度测试所受到的影响因素较多，在ISO等国际标准中，并没有得到认可。

5.努氏原理（HK）

努氏原理同维氏原理基本相同，仅仅是其采用的金刚石压头的形状不同。努氏菱形压头的对角线的比值为：1：7。

6.不同标准的硬度值的比较

事实上，硬度值并不是一个力学性能指标。不同的标尺，给出的是不同的定义，有显著的差别。一般来说，不同硬度标尺之间的硬度比较是按照经验来判定的，并无

数学关系。因此，不同硬度标尺的数值是无法进行比较的，如果非要比较，仅仅是估计罢了。

对于某些特定的材料，比如：钢，它的布氏硬度的值HB/30和抗拉强度N/mm²有一定的稳定的对应关系。所以，我们在有的时候，用这种方法间接地获得抗拉强度。

7.标准硬度块的使用

通常，在仪器的标准配置中，包括1块或多块标准硬度块。它们都是非常均匀的材料，在它们的一个面上，经过了精细的加工，以及硬度值的检测，都标明了其相应的硬度值。

在硬度计校验时，标准硬度块上两个压痕中心距离或者压痕中心到试块边缘的距离必须按照标准执行。当测试点安全覆盖了标准硬度块的表面时，标准块将失效。决不可以磨平后再利用，因为下面的材料的组织结构已经不同于表面的状况，所以得出的硬度值是不正确的。

随着时间的延长，标准硬度块的硬度值将发生微小的变化。大概一个60HRC的标准硬度块经过了5年的时间，硬度值将增加0,5-1 HRC。

经常使用标准硬度块对仪器进行校验是非常必要的，既可以校验其精度，也可以检验其固有的功能指标。