

实验九、材料的维氏显微硬度测量实验

一、实验目的：

- 1、了解硬度的含义及主要的硬度表征的种类和测定方法。
- 2、掌握用维氏硬度计测定材料维氏硬度的测试原理和使用方法。

二、实验原理：

1、硬度的涵义和常用的表示方法：

固体材料表面抵抗弹性变形、塑性变形或破断的能力，是衡量材料软硬程度的一个指标。抵抗能力越高，硬度值就越高。它与材料的化学成分、组织状态、加工处理、工作环境和其它机械性能有关。有人把硬度试验看成与其他力学试验，例如拉伸、压缩、弯曲、扭转、冲击、蠕变等具有同等独立的物理意义，有人把硬度看成是一种特殊的应力或强度。其实这些都是片面的，硬度不像强度、伸长率，它不是一个物理或力学量。对硬度的认识至今还没有完结，还不能给它一个科学的定义。

GB10623-89 金属力学性能试验术语中对硬度概括为：材料抵抗局部变形，特别是塑性变形、压痕或划痕的能力，是衡量金属软硬的判据。

硬度试验以外的力学试验都是各自独立的，其试验原理各不相同，而硬度试验本身又有各自独立的方法，其试验原理也各不相同。硬度不具备一种独立的物理含义，就性质而论，硬度是弹性、塑性、塑性形变强化率、强度和韧性等一系列不同物理量的综合性能指标，它不仅仅数值上在一定条件下与强度有某些对应的相关因数。

实际上硬度的应用相当广泛，其方法简单、操作方便。在应用中，我们不断深化它的认识，积累了很多经验，这些经验又不断升华为理论。硬度只是表征材料变形能力的一个大致特征量，它不仅仅取决于试样的成分和组织结构，也取决于测量方法和试验条件，具有相对测量的性质。硬度值随硬度试验方法的不同，其物理意义也不同。常用的硬度试验方法有划痕法、压入法和动力法。划痕法测得的硬度值，表示材料表面抵抗断裂的能力；压入法测得的硬度值，表示材料表面抵抗塑性变形的能力；动力法测得的硬度值，表示材料变形功的大小。因此硬度代表材料的强度和韧性等综合性能指标。

在实际操作中，对同一材料（同一热轧或锻压条件、同一热处理状态等），不同地点，不同人员要想得到大致一样的结果，必须遵守同一的试验方法或检定规程的规定，必须对实验条件进行严格的限制。硬度的测试方法多种多样，国家特制定各种试验方法标准供大家选择和使用。现行有 GB231-84 金属布氏硬度试验方法、GB4340-84 金属维氏硬度试验方法、GB5030-85 金属小负荷维氏硬度试验方法、GB/T4342-91 金属显微维氏硬度试验方法、GB/T230-91 金属洛氏硬度试验方法、GB9790-88 金属覆盖层及其它有关覆盖层维氏和努氏显微硬度试验方法、GB5934-86 轻工产品金属镀层的硬度测试方法、GB4341-84 金属肖氏硬度试验方法、GB/T13313-91 轧辊肖氏硬度试验方法、GB9097.1-88 烧结金属材料（不包括硬质合金）表面硬度的测定，第一部分，截面硬度基本均匀的材料、GB10425-89 烧结金属磨擦材料表面硬度的测定、GB3849-83 硬质合金洛氏硬度（A 标尺）试验方法、GB7997-87

硬质合金维氏硬度试验方法、GB10420-89 碳化钨钢结硬质合金洛氏硬度（C 和 A）的测定、GB2654-89 焊接接头及堆焊金属硬度试验方法、GB4675.5-84 焊接性试验焊接热影响区最高硬度试验方法、GB8640-88 金属热喷漆涂层表面洛氏硬度试验方法等，还有一些尚未纳标的试验方法，例如里氏硬度试验以及锤击硬度试验和划痕试验（莫氏、马氏、李氏……）。

正因为硬度并不是一个单一的物理量，因而出现各种硬度试验方法和各自根据的试验原理。各组成物理量在不同的试验方法中所起的作用不一样，所得的结果也将出现很大的差别。在测试中应按不同材料的性质、不同的处理状态，具体的试样情况和试验条件，来选择一种最适宜的试验方法，并注明什么硬度值。或者按照产品标准的具体要求，进行什么硬度的试验。

选择哪种硬度是至关重要的！若选择错了，尽管操作及仪器无误，其结果仍是没有价值的。应该结合实际多作分析，重要的结论可以同时结合别的试验，根据经验和标准要求来推断、证实试验结果的有效性，凭借一两个硬度值来决定问题往往会导致错误的结论。

2、维氏硬度的原理：

维氏硬度试验方法是英国史密斯（R.L.Smith）和塞德兰德（C.E.Sandland）于1925年提出的。英国的维克斯—阿姆斯特（Vickers-Armstrong）公司试制了第一台以此方法进行试验的硬度计。因此该试验方法被称为维氏（Vickers）硬度试验方法，进行此种硬度试验的硬度计被称为维氏硬度计。

其原理是将一个相对面夹角为 136° 的正四棱锥体金刚石压头以选定的试验力压入被测材料表面经保持规定时间后（试验力保持时间为 10~15 秒），卸除试验力，用读数显微镜测量压痕两对角线长度 d_1 和 d_2 ，取其算术平均值，查表或代入公式计算出维氏硬度值。

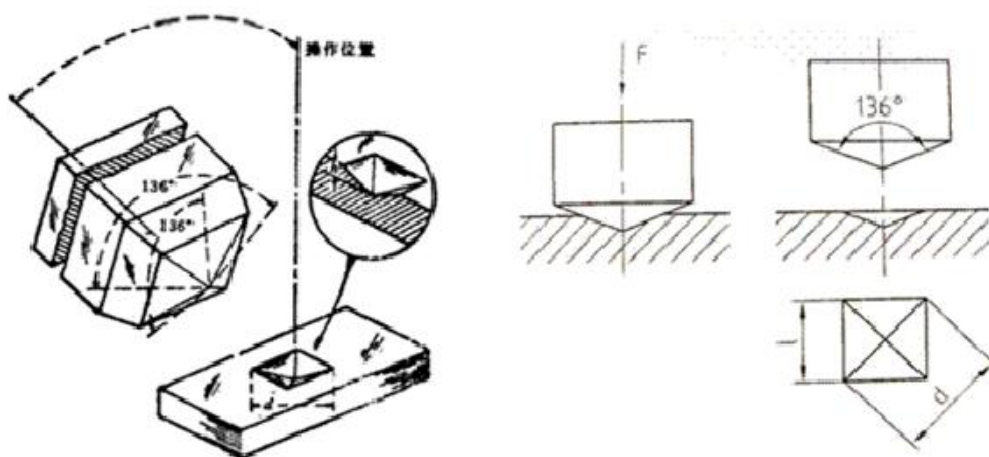


图 1-1 维氏金刚石棱锥压头维氏硬度试验基本原理图

维氏硬度用 HV 表示，则维氏硬度的计算公式为：

$$HV = \frac{F}{S} = \frac{2F \sin(\theta/2)}{d^2} = 1.8544 \frac{F}{d^2}$$

$$HV = 0.102 \frac{F}{S} = 0.102 \frac{2F \sin(\theta/2)}{d^2} = 0.1891 \frac{F}{d^2}$$

$$d = \frac{d_1 - d_2}{2}$$

式中：

- HV—— 维氏硬度值 (kgf/mm²)
 F—— 试验力 (kgf)
 S—— 压痕锥形表面积 (mm²)
 d—— 压痕对角线平均长度 (mm)
 ⊙—— 压头两相对面夹角 (136°)

维氏硬度试验的试验力向小的方向延伸，就出现了小负荷维氏和显微维氏硬度试验。通常将维氏硬度按试验力大小分为以下三种：

- 维氏：F ≥ 49.03N (HV5 以上)
 小负荷维氏：1.961N ≤ F ≤ 49.03N (HV0.2 至 HV3)
 显微维氏：F ≤ 1.961N (HV0.2 以下)

在实际使用中，特别是维氏硬度计的设计时，往往根据使用方便，试验力相互交叉，划分并不十分严格。维氏硬度试验主要用于材料研究和科学试验方面小负荷维氏硬度试验主要用于测试小型精密零件的硬度，表面硬化层硬度和有效硬化层深度，镀层的表面硬度，薄片材料和细线材的硬度，刀刃附近的硬度，牙科材料的硬度等，由于试验力很小，压痕也很小，试样外观和使用性能都可以不受影响。显微维氏硬度试验主要用于金属学和金相学研究。用于测定金属组织中各组成相的硬度，用于研究难熔化合物脆性等。显微维氏硬度还用于极小或极薄零件的测试，零件厚度可薄至 3 μm。

三、实验仪器及原材料

- 1、HDV-1000 型维氏显微硬度计
- 2、试件 1#：薄膜，试件 2#：金属标样

四、实验步骤：

A 硬度计操作步骤

准备工作：

1. 试件准备：标准试件要求——试件表面清洁，无油污、生锈等，试件要平整。
2. 水平校准：调节 4 个支脚，用小水平仪校准试台的水平程度，小水平仪的气泡在中心为准。
3. 检查各指示灯是否正常。

操作步骤：

1. 插上电源，打开电源开关。屏幕上显示界面，此时可修改数据。比如：标尺 (HV、HK) 选择、换算选择，保荷时间选择、灯光亮暗选择，按键可达到要求。
2. 转动变化手轮，使试验力符合选择要求，变换手轮的力值和屏幕上显示的力值是一致的。旋转变换手轮时，应小心缓慢地进行。在旋转到最大力 1 kgf 时，转动位置已经到

底，应反向转动；转到最小力值 0.01kgf 时也应反向转动。

3. 10s 是最常用的试验力保持时间，也可以根据需要按D+或D-，没按一次变化1秒。

4. 如视场光源太暗或太亮，可按L+或L-。

5. 转动转盘，使 $40\times$ 镜处于前方位置（光学系统总放大倍率为 $400\times$ 处于测量状态）

6. 将标准试件放在十字试台上，转动旋轮使试台上升，当试件离物镜下端约 1mm 时（不要碰到物镜），然后用眼睛靠近测试目镜观察。在测微目镜的视场内出现明亮光斑，说明聚焦面即将到来，此时应缓慢微调上升或下降试台，直到目镜中观察到试样表面清晰成像，这时聚焦过程完成。

7. 如果想观察试样表面上较大的视场范围，可将 $10\times$ 物镜转到前方位置，此时光路系统总放大倍率为 $100\times$ ，处于观察状态。

8. 将压头转到前方位置，要感觉到转盘已被定为，转动时应小心缓慢地进行，防止过快产生冲击，此时压头顶端与聚焦好的试样平面的距离约为 $0.3-0.45\text{mm}$ 。（注：当测试不规则的试件的时，操作时要小心、防止压头碰击试件而损坏压头。）

9. 按“启动”键，此时施加试验力（电机启动），屏幕上出现LOAD表示加试验力；DWELL表示保持试验力，“10、9、8……0”秒倒计时；UNLOAD表示卸除试验力；电机工作结束，屏幕上出现等待测量。注：电机在工作状态时不可再去移动试件，必须等这次加卸荷结束后方可移动，否则会损坏仪器。

10. 将 $40\times$ 物镜转到前方，在目镜的视场内可看到压痕，根据自己的视力稍微转动升降旋轮，上下调节十字试台将其调至最清楚。如果目镜内的2根刻线较模糊时，可调节眼罩使之最清晰。

11. 转动右鼓轮，移动目镜中的刻线，使两刻线逐步靠拢，当刻线内侧无限接近时（刻线内侧直接处于无光隙的临界状态，但两刻线绝对不能重叠）。按“清零键”，这时主屏幕上的d1：数值为零，即术语中的零位。这时就可在目镜中测量压痕对角线的长度。

12. 转动右边鼓轮使刻线分开，然后移动左侧鼓轮，使左边的刻线移动，当左边的刻线的内侧与压痕的左边外形交点相切时，再移动右边刻线，是内侧与压痕外形交点相切。按下目镜上测量按钮，对角线长度d1的测量完成；转动目镜 90° ，以上述的方法测量对角线长度d2，按下测量按钮，这时屏幕上显示本次测量的示值和所转换的硬度示值，如果认为测量有误差，可重复上述程序再次测量。

13. 第一次试验结束，按照检定规程要求，第一点压痕不计数，所以第二点压痕的硬度示值作为记入试验次数中的第一次，此时屏幕显示测量次数为NO：01。

14. 在当前几次试验后，其测量结果已经储存在仪器内。按下“打印”键可输出测试结果。

注意事项：

1. 在使用前应仔细阅读操作规范，详细了解仪器操作步骤及使用注意事项，避免由于使用不当而造成仪器损坏或发生人身安全事故。

2. 仪器电器元件、开关、插座安装位置严禁自行拆装，如果擅自拆装将可能出错而损坏仪器。

3. 在试验力正在加载或试验力未卸除的情况下，严禁移动试件，否则会损坏仪器。

4. 仪器在测量状态下, 请不要施加试验力, 如不小心按到“启动”键, 这时不能去动仪器的其他东西, 只有等到试验力施加完毕后, 才可以去动。

5. 压头和压头轴是仪器非常重要的部分, 因此在操作时要十分小心不能触及压头。为保证测试的精确度, 压头应保持清洁, 当沾上了油污或者灰尘时可用脱脂棉沾上酒精或乙醚, 在压头顶尖处小心地轻擦干净。

6. 由于个人的视差, 观察测微目镜视场内的刻线可能模糊, 因此观察者换人时, 应先微量转动目镜上的眼罩, 使观察到视场内的刻线清晰。测微目镜插在目镜管内, 要注意应插到底, 不能留有间隙, 否则会影响到测量的准确度, 当测量压痕对角线时, 须测量其顶点, 然后转 90° 再测量另一对顶点。

7. 试样表面必须清洁, 如果表面沾有油污, 则会影响测量的准确性。在清洁试样时可用酒精或乙醚抹擦。当试样为细丝、薄片或小件时, 可分别用细丝夹持台、薄片夹持台, 放在十字试台上进行测试; 如果试件很小无法夹持, 则将试件镶嵌抛光后再进行试验。

B 维氏硬度技术参数

- 1、试验力: 294N、980N, 允差 $\pm 1\%$
- 2、压头规格: 金刚石正四棱锥体压头
- 3、维氏硬度测量范围: 14HV~1000HV
- 4、维氏硬度符号表示:

符号 HV 之前为硬度值, 符号后按以下顺序用数值表示试验条件:

- (1) 试验力;
- (2) 试验力保持时间 (10~15s 不标注)

例如: 640HV30 表示用 294.2kN (30kgf) 试验力下保持 10~15s 测得的维氏硬度为 640

640HV30/20 表示用 294.2kN (30kgf) 试验力下保持 20s 测得的维氏硬度为 640

- 5、显微镜放大倍率: 37.5 倍 (使用 $2.5\times$ 物镜)、75 倍 (使用 $5\times$ 物镜)
- 6、测微目镜轂轮最小分度值
 - a. 使用 $2.5\times$ 物镜, 分度值 $I=0.004\text{mm}$
 - b. 使用 $5\times$ 物镜, 分度值 $I=0.002\text{mm}$

五、数据记录与处理

试样	试验力 (N)	压痕对角线长 $d(\mu\text{m})$			硬度	平均硬度
		1	2	平均值		(HV)

附： 布、洛、维硬度值对照表

布氏硬度 HB	洛氏硬度 HRC	维氏硬度 HV		布氏硬度 HB	洛氏硬度 HRC	维氏硬度 HV
	68.0	940		415	44.5	440
	67.5	920		401	43.1	425
	67.0	900		388	41.8	410
767	66.4	880		375	40.4	396
757	65.9	860		363	39.1	383
745	65.3	840		352	37.9	372
733	64.7	920		341	36.6	360
722	64.0	900		331	35.5	350
710	63.3	780		321	34.3	339
698	62.5	760		311	33.1	328
684	61.8	740		302	32.1	319
682	61.7	737		293	30.9	309
670	61.0	720		285	29.9	301
656	60.1	700		277	28.8	292
653	60.0	697		269	27.6	284
647	59.7	690		262	26.6	276
638	59.2	680		255	25.4	269
630	58.8	670		248	24.2	261
627	58.7	667		241	22.8	253
620	58.3	660		235	21.7	247
601	57.3	640		229	20.5	241
578	56.0	615		223		234
	55.6	607		217		228
555	54.7	591		212		222
	54.0	579		207		218
534	53.5	569		201		212
	52.5	553		197		207
514	52.1	547		192		202
	51.6	539		187		296
	51.1	530		183		192
495	51.0	528		179		188
	50.3	516		174		183
477	49.6	508		170		178
	48.8	495		167		175
461	48.5	491		163		171
	47.2	474		156		163
444	47.1	472		149		156
429	45.7	455		143		150