

文章编号: 1006-155X(2002)01-051-04

维氏硬度计数字化原理

邢思明¹, 郑建平²

(1. 武汉大学动力与机械学院, 湖北 武汉 430072; 2. 武汉大学电子信息学院, 湖北 武汉 430072)

摘要: 用力传感器和位移传感器实时自动测量试验过程中试验力和压头压入试样的深度并显示, 以控制试验进程, 保证试验的有效性; 卸除试验力后, 由位移传感器在线自动测量残余压痕深度, 自动计算、输出维氏硬度值, 保证试验结果获取的实时性。这是维氏硬度计数字化最简洁、有效的方法, 使维氏硬度试验能方便地用于硬度的常规检验, 解决了实际应用中以维氏硬度作为统一的硬度标度的技术问题。

关键词: 维氏硬度计; 数字化原理; 传感器; 试验力; 压痕深度

中图分类号: TH 871.5 **文献标识码:** A

硬度是金属重要的力学性能指标之一, 它的重要性不仅体现在它的物理意义本身, 而且体现在它与抗拉强度和耐磨性等密切关系上。由于抗拉强度、耐磨性试验是破坏性试验, 而硬度试验是非破坏性的, 且较容易、较方便, 因此通常都只要求金属材料、工件或零件的硬度在某一范围内, 也就是说, 用硬度来表征金属的强度和耐磨性等重要的力学性能指标。所以, 硬度试验在金属材料、机械制造领域中的应用极为普遍。因此, 在实际应用中使用连续的硬度标度, 快速、准确地检验金属的硬度, 十分必要。

1 维氏硬度计数字化的意义

众所周知, 只有维氏硬度试验才能使金属建立起连续一致的硬度标度, 但现有的维氏硬度计在使用时存在种种不便和限制, 如试验力分档、不连续、不能实时获取试验结果、试验结束后才能判定试验是否有效等。这些因素都制约了维氏硬度试验在硬度常规检验中的普遍应用。显而易见, 如果以简洁的方法实现维氏硬度计的数字化, 保证试验的有效性和试验结果获取的实时性, 并具有足够的准确性, 就可以使维氏硬度试验广泛地应用于硬度的常规检验, 从而解决实际应用中以维氏硬度作为统一的硬度标度的技术问题^[1]。

国内新天精密光学仪器公司、国家计量科学研究院等单位对国家维氏硬度基准进行了数字化改造, 以砝码加载, 分为 5、10、30、50 kg 四档, 液压控制。试验结束后用线阵排列 CCD 成像技术测量压痕对角线长度, 显微物镜放大率为 20 倍时, x 方向、 y 方向的极限分辨率分别为 $0.35 \mu\text{m}$ 和 $0.1 \mu\text{m}$ 。硬度基准的多次测量重复性 $3\sigma = 0.07\% \sim 0.1\%$, 再现性 $< 0.6\%$, 与 TPO-2 国家维氏硬度基准比对, 差值 $< 0.5\%$; 以用相近方法数字化了的意大利计量所 (IMGC) 基准和德国联邦物理技术院 (PTB) 基准比对, 差值分别小于 2% 和 2.4% ^[2]。

目前, 未见国内外用于硬度常规检验的维氏硬度计的数字化报道。

2 对维氏硬度计数字化的基本要求

为保证试验的有效性、试验结果的准确性和试验结果获取的实时性, 维氏硬度计数字化的基本要求为:

(1) 试验力连续、均匀变化, 不分档, 这样可以免除试验力档选择不当引起试验无效或相对误差过大的情况发生。

(2) 加载过程中, 实时显示试验力大小和包括弹性变形和塑性变形两部分在内的压头压入试样的程度。这样, 对于厚试样、硬试样, 可将试验力加

收稿日期: 2001-06-17

作者简介: 邢思明(1946-), 男, 江苏启东人, 副教授, 主要从事机械设计制造及传感技术应用
©1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.

至预定的数值;对于薄试样,可用控制试验力的方法,控制压头压入试样的程度(试样或试验层厚度和硬度的大致范围是可以估计的),在保证本次试验有效的基础上,压痕尽可能大些。

(3)卸除试验力后,在线读取这个点的硬度值并自动存储;每个试样试验结束后,自动进行试验数据处理,输出维氏硬度平均值和硬度示值波动度

等所需数据。

3 维氏硬度计数字化原理

图1所示为用于中小件硬度试验的台式维氏硬度计(试验力2~1 000 N)的数字化原理和总体结构布置。

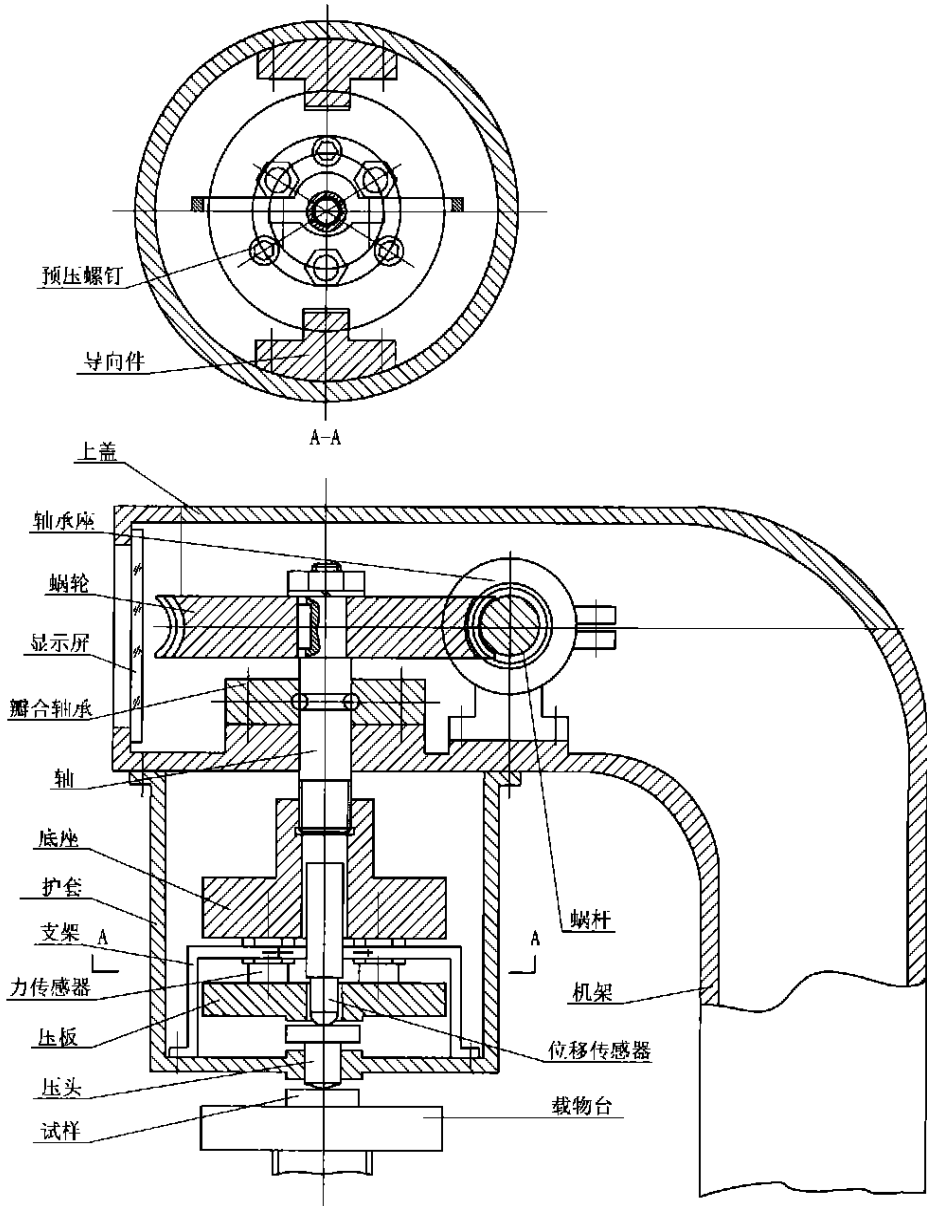


图1 总体结构布置图

3.1 载荷系统

在外力驱动下,蜗杆带动蜗轮、轴转动、底座在导向件的作用下下行,压板接触压头上端施加试验力,压板、力传感器、底座形成力封闭系统,并用螺

钉对力传感器(3个,均布)进行预压,这样的结构可去除力传感器线性较差的小负荷部分,并使载荷系统零件的重力、运动件的摩擦力等与试验力无关,力传感器信号增量表征的就是实际施加于压头

的试验力。3 个力传感器同步独立采集信号和模数转换,三者之和作为试验力,以减小载荷不均匀引起的试验力误差。

3.2 压痕深度测量系统

图 1 中,位移传感器固定于机架,其测量头与压头上端面常接触,并预置位移量 0.5 mm 左右。载物台上升,待试样接触压头后继续上升约 1 mm,此时位移传感器读数为 a_0 。连续施加试验力 F 于压头, F 由零逐渐增大,位移传感器读数 a_1 不断变化。试验过程中, F 和压头压入试样的深度(包括弹性变形和塑性变形两部分) h_1 ($h_1 = a_1 - a_0$) 作动态实时显示。接近预定的 F 或 h_1 时停止加载,试验力保持一定时间后卸载。当 F 显示为零时,位移传感器读数为 a_2 ,残余压痕深度 $h = a_2 - a_0$ 。 h 值和停止加载时最大的 F 值送数据处理,便可获取试样这个点的维氏硬度值 HV ;

$$HV = F/26.4286h^2$$

与移出试样用 CCD 成像技术测量压痕对角线长度等方法相比,用图 1 所示原理和结构对维氏硬度计进行数字化,是最便捷、技术上最易实现的方法,试验时操作方便,试验过程直观,易于控制 F 或 h_1 的大小,用于硬度的常规检验是理想的。但是,图 1 所示的压痕深度测量方法将产生非线性的原理误差。

试样接触压头后,载物台又上升约 1 mm,位移传感器读数为 a_0 。 a_0 并非是残余压痕深度的零点,而是在 F_0 (常量,包括压头重力约 10 g,位移传感器测量力 5 g) 作用下压头顶点位置的读数,卸除试验后 F_0 仍然存在,因此 F_0 相当于预载荷。 F_0 对 a_2 的影响甚微,可以忽略,但对 a_0 的影响较大,见图 2。所以,如果要最大限度地消除压痕深度测量原理误差引起的硬度示值误差,则需精确界定试样表面与压头接触的临界状态 ($0 \pm 0.1 \mu\text{m}$),以两者处于临界接触状态时的位移传感器读数作为残余压痕深度的零点,但这是十分复杂和困难的。不过, F_0 引

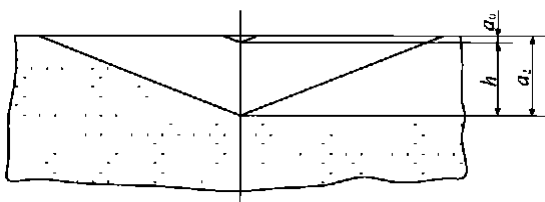


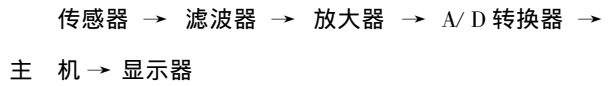
图 2 F_0 对 a_0 的影响

起的硬度示值误差可采用数学方法或以变形比功为基础的理论方法修正,或以一等标准维氏硬度块为基准,用实验方法修正(修正方法将另文讨论)。当 F 比 F_0 大 2~3 个量级以上时,可不必修正。

3.3 硬件、软件系统

试验过程中需对传感器信号进行连续采集和 A/D 转换(转换精度不低于 0.1%),显示动态的试验力和压头压入试样的深度,求出试验力的最大值和卸除试验力后的残余压痕深度,并送数据处理,显示试样这个点的维氏硬度值并存储。每个试样试验结束后显示硬度的平均值和硬度示值的波动度等所需数值。

硬件框图如下:



软件流程图见图 3。

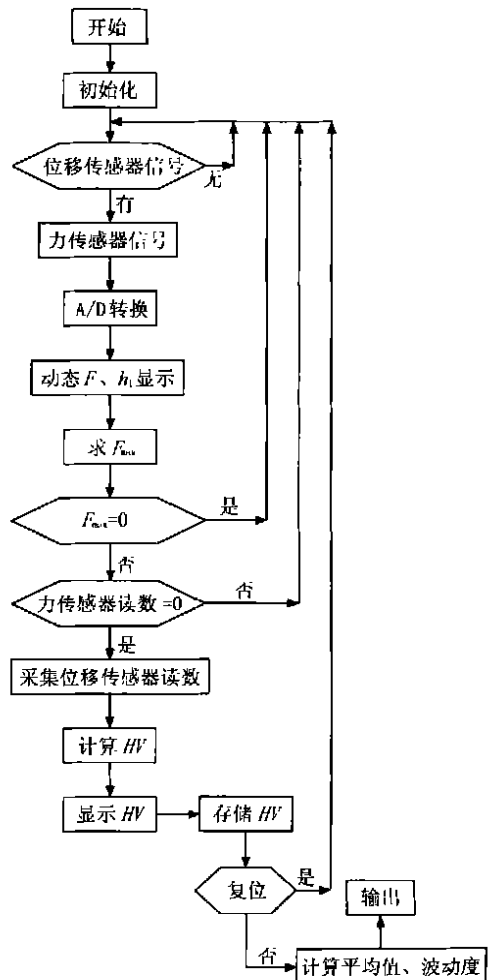


图 3 软件流程示意图

4 数字化基本要求实现后的拓展

台式维氏硬度计数字化的基本要求实现后,有必要进行多方面的拓展:

(1)要真正实现应用中以维氏硬度作为统一的硬度标准,数字式维氏硬度计需系列化,其结构形式须满足各种尺寸和形状试样的硬度试验需要.除台式外,还应有用于大件试验的便携式,用于内孔、齿轮、机床导轨等试验的专用硬度计.

(2)提高数字化程度,直到试验过程实现自动化、智能化,如试样接触压头后的上升距离、试验力或压头压入试样的深度、试验力保持时间等的自动控制、自动卸载、复位功能设置等.

(3)从维氏硬度真正成为实际应用中唯一的硬度标度之前的可能需要来考虑,可按照国家标准,设置维氏硬度与其他常用硬度标度之间的转换功能,使其在必要时能替代其他硬度计使用.还可以将压头分为压头体和压头座两部分,做成装配式,如图4所示,压头体前端的材料、形状、尺寸与各硬度标度对应,机内更换压头体后即可进行布氏、洛氏、表面洛氏各标度的硬度试验.

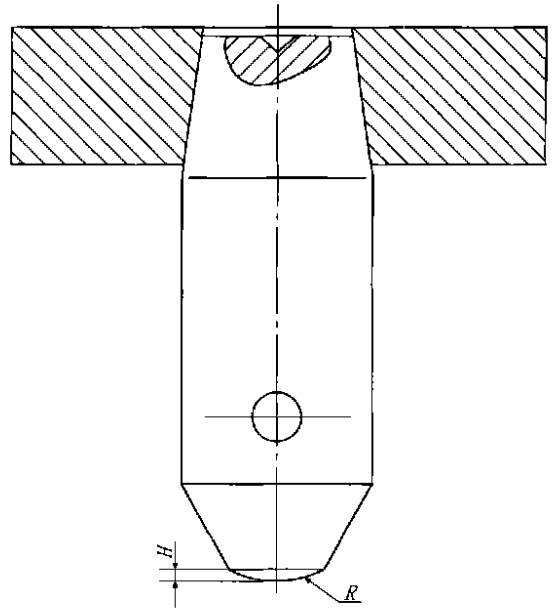


图4 装配式压头

点和优势充分发挥,在实际应用中,维氏硬度试验将成为唯一的硬度试验,统一使用维氏硬度标度将成为必然趋势.

参考文献:

- [1] 高明志. 金属力学性能[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1986.
- [2] 杨国林. 全自动维氏硬度基准的控制与测量软件[J]. 光学仪器, 1998, 20(4): 12-17.

5 结束语

用力传感器和位移传感器对用于常规硬度检验的维氏硬度计进行数字化,从原理分析是可行的.如果获得成功,可以使维氏硬度试验独具的特

Digitalization principle of Vickers hardness tester

XING Si-ming¹, YUN Jian-ping²

(1. School of Power and Mechanical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. School of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: With force transducer and displacement transducer automatically measuring the test load and the depth of diamond pyramid pressed mark respectively, the data are displayed to control the test processing and assure effectiveness of the testing. As soon as unloaded, the depth of the remainder pressed mark is measured on line by the displacement transducer automatically. Furthermore, the calculation of Vickers hardness number and its output are carried out automatically so as to ensure the testing results are obtained on real-time. This is the most concise and effective way for Vickers hardness tester. Thus, not only it will be universally used in routine inspection of metal's hardness easily and quickly, but also be used to solve the technical problem that put the unitary scale of hardness into practice.

Key words: Vickers hardness tester; digitalization principle; transducer; test load; depth of pressed mark