

文章编号:1003-7837(2005)01-0053-05

一种新型的金相显微硬度自动分析测试方法

邓耀华, 吴黎明, 李政广, 王桂棠

(广东工业大学信息工程学院, 广东 广州 510643)

摘要:针对目前计算机数字图像分析技术对维氏硬度进行分析的自动化程度较低现状,提出了一种将小波多分辨率理论用于金属表面维氏硬度实验压痕进行自动分析的方法。对压痕采样信号进行小波分解,分别对 db7 小波基分解的细节和逼近进行分析判断,从而得出在压痕边缘上与采样线的所有交点,应用最小二乘法拟合出压痕的边缘直线,对提取压痕进行尺寸标定,得到压痕的对角线实际几何尺寸,最终计算出试验点的维氏硬度值。系统采用上下位机微机控制方式,显微镜载物台数控系统采用嵌入式技术开发,保证了控制系统的稳定性和实时响应性。

关键词:维氏硬度;小波分析;最小二乘法;金相测量系统

中图分类号: TG113.25 **文献标识码:** A

对材料的微观组织结构进行分析,对于研究和改善材料性能具有重要的意义。在各种研究手段中,用金相显微镜进行光学金相分析是最广泛使用的一种方法。随着现代计算机控制技术和数字图像处理技术的发展,使用计算机进行自动控制和自动图像分析代替传统的人工操作,金相分析系统的自动化程度逐渐提高。

计算材料表面维氏硬度值的主要依据是试验的载荷和压痕对角线的平均长度。在金相图中怎样有效地提取出试验的压痕区域,从而得到其对角线的平均长度是计算机实现自动分析硬度的关键。近年来,带有金相图像分析系统的显微硬度计大大提高了测量的自动化程度,尤其在实现计算机控制系统方面,自动化程度已经比较高了,但是在运用计算机数字图像分析技术对金相参量进行自动化分析方面却不是那么理想。在正交小波变换理论中具有重要地位的多分辨率分析理论提供了一个多分辨率逼近信号和观察信号细节的工具^[1]。本文提出了一种利用小波多分辨率理论对马氏体材料表面的试验压痕进行分析采样,自适应调整采样的间隔,并应用最小二乘法拟合压痕边缘直线,实现了对马氏体材料硬度的自动分析。

1 系统工作原理

本系统采用上位机和下位机两级微机控制方式,如图 1 所示。上位机控制显微硬度计的数控载物台上、下移动,配合自动调焦系统实现对试样的聚焦,通过 CCD 摄像头得到清晰的金相图片。利用数字图像处理技术完成对晶粒大小和第二相组织相对含量的测量。自动测试的过程是:将 CCD 拍摄到的试验压痕图,运用小波多分辨率理论实现硬度的自动分析和计算。

2 维氏硬度的测试原理和测量方法

维氏硬度试验是一种压痕的试验方法,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 F 压入试验物表面,在保持规定的时间后卸除,测量压痕两对角线长度。维氏硬度计算公式为^[2]:

$$H_v = 0.102 \frac{2F \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} \approx 0.1891 \frac{F}{d^2} \quad (1)$$

式(1)中: F —试验力, N; d —压痕的两对角线 d_1 和 d_2 的算术平均长度, mm。

要得到压痕的两条对角线的长度,首先要确定压痕的四个顶点的位置。倘若识别出了压痕四条边

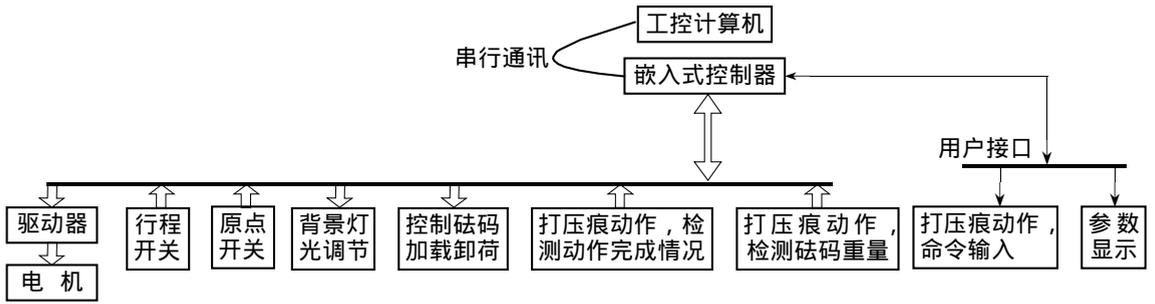


图 1 控制系统硬件的结构图

Fig.1 Structure plan of hardware configuration of control system

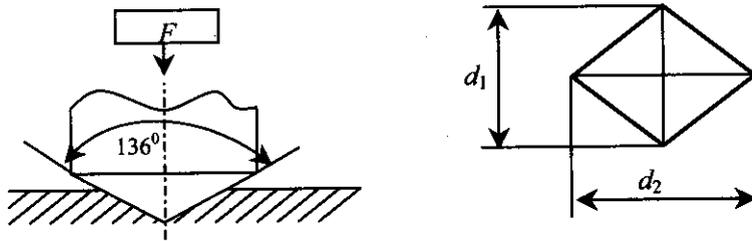


图 2 维氏硬度试验示意图

Fig.2 Scheme for Vickers hardness test

的位置,顶点的坐标就很容易得到.在理想的情况下,压痕的四条边在图片中与横坐标分别成 45° 和 135° .当沿着 45° 和 135° 两个方向分别采样数据时,每条采样线在压痕区域将与压痕的两条相对的边缘线垂直相交(如图 3).利用小波理论对信号细节的多分辨率分辨能力,对每条采样线进行分解,找到在压痕区域的采样线并计算出其与压痕两条边的交点.当在压痕边缘线上找出了一定数量的点后,就可以用最小二乘法拟合出压痕的边缘线,然后得到四个顶点在图片中的坐标.在完成了金相图片的尺寸标定后,就能得到压痕区域对角线的实际长度,从而计算出材料的维氏硬度值.

3 压痕边缘采样数据的小波分析

小波变换被称为是数学上的显微镜,具有很好的时、频定位能力.在正交小波变换理论中具有重要地位的多分辨率分析(又称为多尺度分析)理论,为我们提供了一个多分辨率逼近信号和观察信号细节的工具.

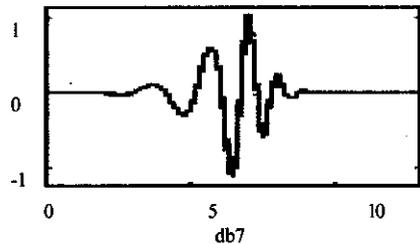


图 4 db7 小波

Fig.4 db7 wavelet

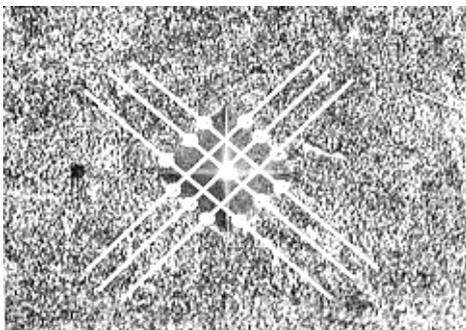


图 3 用于小波分析的信号采样示意图

Fig.3 Scheme of signal sampling for wavelet analysis of control system 万方数据

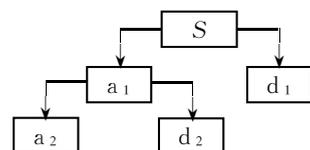
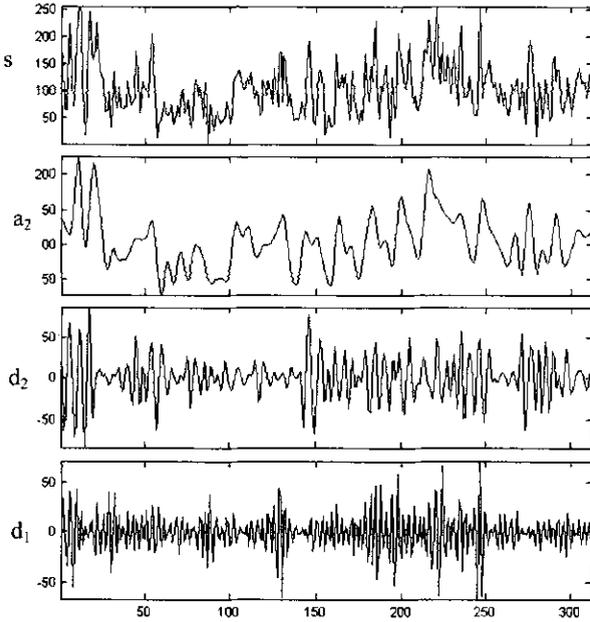


图 5 信号的小波分解树

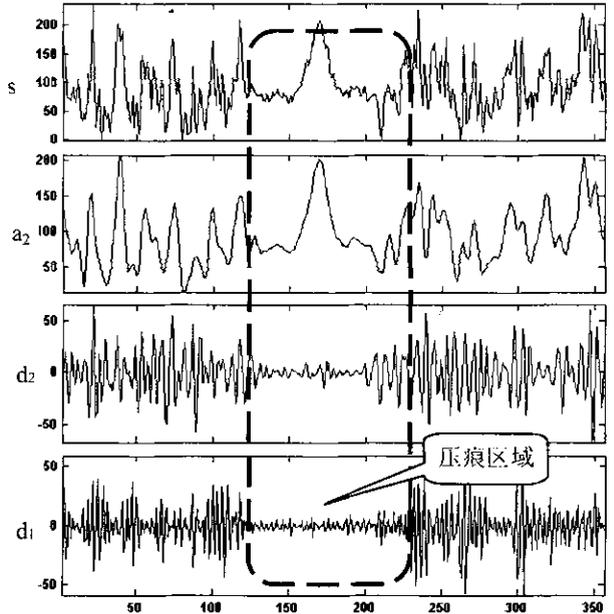
Fig.5 Wavelet decomposition tree of signals

在小波分析中,小波基的选择是很重要的,它直接影响分析的效果.经过试验比较,使用 db7 小波(图 4)对这种组织的图像的分析效果比较好.图 5 为沿采样线的幅度信号 S 的 db7 小波二次分解树, d_1 为第一次分解的细节, d_2 为第二次分解的细节, a_2 为第二次分解的逼近 $a_1 = a_2 + d_2$, a_1 为第一次分

解的逼近,所以原信号 $S = a_1 + d_1 = a_2 + d_2 + d_1$ ^[5].图 6 分别是对马氏体组织不含有压痕区域和含有压痕区域的采样数据进行的 db7 小波的二次分解.从图 (b) 中可以看出,压痕区域在小波分解的细节 d_1 上就能够比较明显的反映出来,它对应着 d_1 中部方差和幅度比较小而均匀的一段区域.用计算机分辨出这段区域是比较容易的^[3].



(a) 不含有压痕区的采样数据及其分解



(b) 含有压痕区的采样数据及其分解

图 6 信号的 db7 小波二次分解

Fig.6 Level 2 decomposition of signal using db7 wavelet

4 最小二乘法拟合压痕的边缘直线

最小二乘法拟合直线的拟合原则是找到一条直线使 n 个标定点的均方差为最小值.按照第 2 节的测量思路,经过小波分析判断出压痕边缘上与采样

线的所有交点后,就可以用最小二乘法拟合出压痕的边缘直线(图 7).当压痕的四条边缘直线都拟合出来以后,就很容易地计算出四个顶点 A、B、C、D (图 8) 的像素坐标.压痕对角线平均像素长度 $d_{pix} = (AC + DB) / 2$.

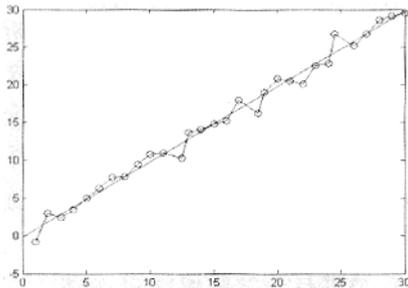


图 7 最小二乘法拟合压痕边缘直线

Fig.7 Fitted line of impression edge using least square method

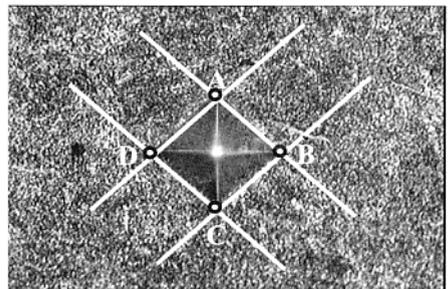


图 8 压痕边缘拟合结果

Fig.8 Result of the approximation to the impress

5 采样图像的尺寸标定与自动计算

要想得到图片中两点之间的实际距离,必须解决图像的尺寸标定问题.图9为40倍物镜下的显微标尺图.40倍物镜的景深仅1~2 μm,因此,显微标尺与被测试材料的表面几乎处于同一个位置平面.所以当标尺图与上面的马氏体压痕图属于同一放大

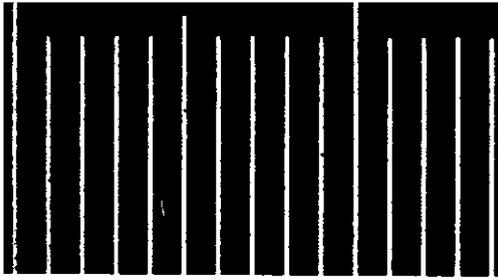


图9 40倍物镜下的标尺图

Fig.9 Graphics of ruler under lens 40 folds objective

通过小波多分辨率分析,得到压痕对角线的平均像素长度为 d_{pix} ,通过显微标尺得到每两个相邻像素所代表的实际尺寸 r ,这样就可计算出实验压痕对角线的平均长度 $d = d_{pix} \times r$.将 d 及硬度试验力 F 代入公式(1)中,就可以计算出该试验点的维氏硬度值.

6 显微测量系统的软件结构

为提高系统软件的可靠性和稳定性,显微硬度测试系统软件采用模块化设计,分上位计算机和下位单片机两大模块.其中上位机软件采用 VC.NET 开发,上位机模块分为6个具体的实现模块(图11),下位机模块分为5个具体的实现模块(图12).

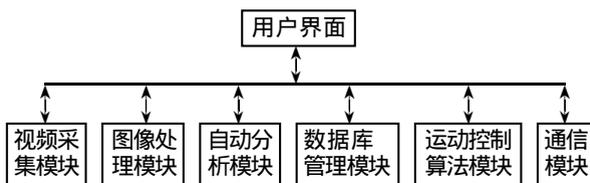


图11 上位计算机软件的结构

Fig.11 Configuration of software of upper computer

倍数和同一图像分辨率时,就能把显微标尺图作为尺寸标准,来测量金相图片中两点之间的实际距离.在图9所示的标尺图中,每小格代表的实际距离是10 μm.当沿着标尺刻度的垂直方向对标尺幅度进行采样,就得到图10的标尺刻度幅度图.有了总的实际尺寸与刻度个数(反映为上升脉冲个数)的比率,就可以计算出每两个相邻像素所代表的实际尺寸 r .

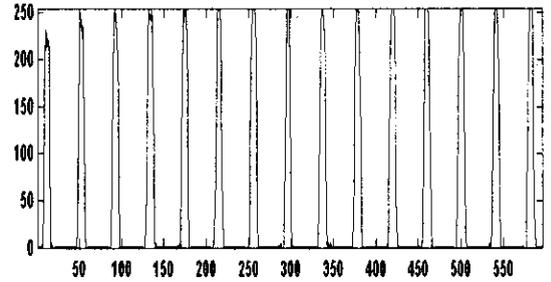


图10 垂直于标尺刻度方向的幅度图

Fig.10 Graphics of amplitude value vertical to a ruler

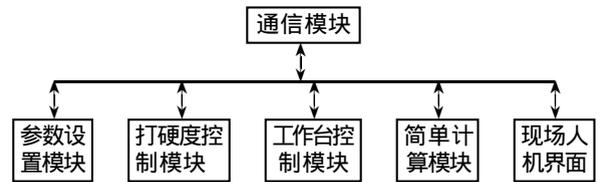


图12 下位单片机的软件结构

Fig.12 Configuration of software of lower single chip computer

7 结论

针对传统显微硬度计的自动化程度不高,测量结果容易受人为因素影响的情况,以及用计算机数字图像分析技术对维氏硬度进行自动化分析方面的不足展开了一系列的研究,在以下几方面取得了一定的进展(1)提出了基于小波多分辨率理论的马氏体维氏硬度自动分析的新方法,结合数字图像技术实现了对马氏体材料表面进行维氏硬度自动分析与计算.在硬度自动分析应用技术上取得了一定的突破(2)该测量系统自动分析速度快,测量精度高,重复性好,实用性强.

该系统还能很好地自动分析在图像纹理结构方面与马氏体组织相类似的材料组织的维氏硬度,如回火屈氏体、回火索氏体等,但是对被腐蚀的材料或

其他纹理结构的材料组织在维氏硬度自动分析方面效果不理想,需要进一步的研究.

参考文献：

- [1] Takao S , Tadao K. Development of an Automatic Vickers Hardness Testing System Using Image Processing Technology[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics , 1997 44(5) : 696 - 702.
- [2] ISO6570/2 - 1983 , 金属材料 - 硬度试验 - 维氏试验 - 第 2 部分 HV0.2 < HV5 [S].
- [3] 吴黎明 , 周曲 , 邓耀华 , 等. 维氏硬度试验压痕图的小波分析与自动计算硬度[J]. 中国机械工程 , 2004 , 5(6) : 498 - 500.
- [4] 陈武凡. 小波分析及其在图像处理中的应用[M]. 北京 : 科学出版社 , 2002.
- [5] 何斌. Visual C++ 数字图像处理[M]. 北京 : 人民邮电出版社 , 2001.

One automatic measurement method to analyze the hardness of metal surface

DENG Yao-hua , WU Li-ming , LI Zheng-guang , WANG Gui-tang

(Information Faculty of Guangdong University of Technology , Guangzhou 510643 , China)

Abstract : In consideration to low automatic level in Vickers hardness analysis by using digital image technology , an automatic analysis method for the impression arised from Vickers hardness test on the surface of metals by using wavelet multi-resolution theory is put forward. Under the direct of this theory , we have studied on the measure system and designed the software and hardware of this system , so get the edges of the impression fast and efficiently. Good application effect has been obtained.

Key words : vickers hardness ; wavelet analysis ; least square method ; stereologic analysis