

非接触式视频引伸计在力学性能试验中的应用

胡世军^{1,2}, 张红香^{1,2}, 张代录^{1,2}, 杨 笠³

1. 兰州理工大学机电工程学院, 兰州理工大学数字制造技术与应用省部共建教育部重点实验室, 兰州 730050
2. 甘肃蓝星清洗技术有限公司, 兰州 730050

摘要 为了在材料力学性能试验中推广和应用非接触式视频引伸计, 在 20kN 电子万能试验机上对 2A12T4 铝合金型材试样进行拉伸试验, 用非接触式视频引伸计对该合金的伸长率和宽度变形进行自动测量; 同时, 在长度方向安装电子应变引伸计跟踪测量, 宽度方向缩减变形量在保持相应力值的情况下采用千分尺测量, 试样断裂后用工具显微镜测量长度和宽度方向变形; 比较用两组测量工具测量出的变形情况, 并做出纵、横向变形绝对偏差的平均值曲线, 对其进行分析。结果表明, 使用非接触式视频引伸计对材料力学性能指标的测量完全能够满足生产和试验研究的需要。

关键词 非接触式视频引伸计; 亚像素法; 力学性能试验

中图分类号 TH871.7

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.19.009

Application of Non-contact Video Extensometer in Mechanical Properties Test

HU Shijun^{1,2}, ZHANG Hongxiang^{1,2}, ZHANG Dailu^{1,2}, YANG Li³

1. School of Mechanical and Electromechanical Engineering, Key Laboratory of Digital Manufacturing Technology and Application, Ministry of Education, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China
2. Gansu Blue Star Cleaning Technology Co., Ltd, Lanzhou 730050, China

Abstract In order to promote and apply non-contact video extensometer to the mechanical test of materials, the tensile testing of 2A12T4 aluminum alloy profile sample is conducted on the 20kN electronic universal testing machine by automatically measuring elongation and width of the deformation for the alloy in non-contact video extensometer. At the same time, electronic strain extensometer is installed in the length direction for tracking measurement, with keeping in the corresponding force value, cut deformation in the width direction is measured by means of micrometer measurement. After the sample cracks, the tool microscope is used to measure the deformation in both length and the width directions. The deformations measured by two groups of measuring tools are compared with each other, and the average value curves in the absolute deviation for the vertical and horizontal deformations are drawn. The analytic results indicate that using non-contact video extensometer to measure mechanical properties of materials is able to completely meet the needs of production and test.

Keywords non-contact video extensometer; sub-pixel method; mechanical property test

0 引言

随着加工制造业的不断发展, 对加工材料的性能要求越来越高, 相应地, 材料性能的检测手段也越来越先进。使用非接触式视频引伸计测量材料的力学性能是在光电器件和光电测量技术以及图像处理技术不断发展完善的基础上产生的, 它有诸多接触式引伸计无可比拟的优势, 如非接触式应

变测量对断裂点无影响; 可任意设定原始标距测量范围, 标距误差对应变量不产生任何影响; 可自动判断试样颈缩位置, 检测横截面变化; 按文件形式存储图像, 并可随时调出及打印; 几乎适用于测量所有材料^[1]。非接触式视频引伸计适配于各类电子万能试验机, 既能用于硬质合金的常规拉伸、压缩等试验, 也能用于伸长率较大的塑性材料的力学性能试

收稿日期: 2012-04-26; 修回日期: 2012-05-23

作者简介: 胡世军, 副教授, 研究方向为成套装备及自动化、数控技术及精密制造装备, 电子信箱: husj116@sohu.com; 张红香, 工程师, 研究方向为数控技术与精密制造, 电子信箱: zhanghx126@163.com



验,如铝合金扁平试样的性能试验。本文通过对 2A12T4 铝合金型材进行拉伸试验,分别使用非接触式视频引伸计和电子应变引伸计、千分尺、大型工具显微镜测量试样的变形,比较使用两组测量工具的测量结果,得出使用非接触式视频引伸计测量材料力学性能指标的可行性与可靠性。

1 非接触式视频引伸计的工作原理

非接触式视频引伸计测试原理与机械式引伸计完全不同,机械式引伸计需要与试样直接接触,这样才能真实测量材料的应变,而视频引伸计是利用亚像素法原理以无接触方式同时测量纵向和横向两个方向的试样变形的,它的核心组件是 CCD 元件,电信号与光强度成比例输出,利用线阵 CCD 测量变形量,其优点在于非接触、无磨损、不引入测量的附加误差、测量精度高、能够测量材料拉伸变形的全过程,特别是能够测量材料在断裂前后的应力应变曲线,从而能够测得材料的各种极限特性参数,其测量范围由镜头焦距决定,配备不同焦距的镜头,可获得各种测量范围的量程^[2]。视频引伸计测量系统主要包括光源部分、定位架、CCD 摄像头、图像采集卡、PC 机和相应的检测软件等几部分。首先在试件的工作部分做好无损标距,该标距对摄像感光明显,利用照明部件照亮被测试件的标距及关键特征,此时被测试件的标距成像在 CCD 摄像头上,并且保持摄像机光轴与试件轴线垂直。当材料拉伸变形时,试件的尺寸及其变化通过图像数据信号传入计算机,再利用计算机程序对采集到的图像进行处理后显示在一个二维平面内,CCD 上的标距成像将随着试样变形而发生相应的变化,同时,试件尺寸的变化将导致试件图像面积的相应改变,并且成线性比例关系,因此测得了图像中试件面积的变化,就可以准确推算出实际试件的尺寸及其变化,将图像数据信号传入计算机,利用计算机进行图像预处理、边缘检测和图像匹配技术等图像处理后即可得到所测的试样变形量^[3-4]。

2 试验过程及结果

2.1 使用的仪器及精度

该拉伸试验使用精度为 0.5 级的 WDW3020 型电子式万能试验机,YSJ-C100125 型电子应变引伸计,测量精度为 0.001mm 的千分尺,Xum-21 型大型工具显微镜;视频引伸计采用 SDK-2000 视频采集卡,XY-1370 型视频头,镜头 F2.8-11,实验证明采用 F9.2 较为合理;能完成实验测试数据处理的计算机及相应的应用软件;本次试验的视野范围为 50mm,分辨率为 0.001mm。

2.2 试样的选取与制备

该试验选用合金状态为 2A12T4 的铝合金型材,试样按照 GB/T 16865—1997《变形铝、镁及其合金加工制品拉伸试验用试样》规定制取,取 5 个样坯,加工成工作部分宽度为 12.5mm、厚度为 3.00mm、标距为 50mm 的标准试样,试样编号分别为 1—5,按 GB/T 228—2002《金属材料室温拉伸实验方

法》进行力学性能试验。

2.3 试验过程

拉伸试验在精度为 0.5 级的 WDW3020 型电子式万能试验机上进行,试验过程中,根据配备的控制软件编制的控制方式对加载过程进行控制,采用无损标记将试样标点均匀分布在所选试样上。试验加载速度不超过 10mm/min,施加应力最大为 450MPa,分 5 级进行,分别为 70,180,270,360,450MPa,试验过程中分别求出在这 5 种力值下试样的纵向和横向变形,直至将试样拉断。经测量计算,试样的原始横截面积平均值 $A=37.5\text{mm}^2$,可以根据公式^[5] $\sigma=F_N/A$ (σ 为应力, F_N 为轴力, A 为杆的横截面积)换算出不同等级应力下试验机所施加的对应力值,换算结果见表 1。

表 1 不同应力值对应的力值

Table 1 Different stress values corresponding to the force values

等级	1	2	3	4	5
应力值/MPa	70	180	270	360	450
力值/N	2625	6750	10125	13500	16875

2.4 试验结果

通过无负荷工作调整好非接触式视频引伸计的物面对比系数,然后在 5 种力值下分别自动测量纵向标距内最大变形量和标准宽度的横向变形量,测量结果见表 2。

表 2 非接触式视频引伸计自动测量结果

Table 2 Measurement results of non-contact typed video extensometer

力值/kN		2.50	6.50	10.00	15.00	断裂
纵向变形 量/mm	1	1.022	2.126	3.211	10.245	12.105
	2	1.043	2.085	3.284	8.983	10.406
	3	1.036	2.110	3.239	10.032	12.097
	4	1.054	2.106	3.314	9.976	12.043
	5	1.043	2.063	3.305	10.323	12.104
横向变形 量/mm	1	0.023	0.081	1.124	2.014	2.341
	2	0.020	0.063	1.160	2.085	2.125
	3	0.034	0.074	1.035	1.894	2.104
	4	0.016	0.055	1.020	2.051	2.143
	5	0.022	0.072	1.105	1.963	2.230

在对应的 5 种力值下,长度方向的伸长量采用电子应变引伸计跟踪测量,宽度方向的缩减变形量采用厚度千分尺对试样工作部分的最薄处、最厚处以及中间处分别测量,取测量的平均值,断裂后用工具显微镜分别对长度和宽度方向上的变形进行测量,测量结果见表 3。

对两组测量工具测得的结果进行绝对误差的计算,计算结果见表 4。

在不同的试验力下,将纵向和横向变形绝对偏差的平均值绘成曲线(图 1)。

表 3 采用对比方法同步测量的长度、宽度方向的变形量
Table 3 Simultaneous measurement of length and width deformations by using comparative method

力值/kN		2.50	6.50	10.00	15.00	断裂
纵向变形 量/mm	1	1.022	2.128	3.213	10.246	12.108
	2	1.042	2.092	3.284	8.974	10.398
	3	1.034	2.114	3.232	10.046	12.091
	4	1.045	2.115	3.315	9.987	12.042
	5	1.043	2.060	3.302	10.324	12.103
横向变形 量/mm	1	0.024	0.086	1.131	2.016	2.346
	2	0.022	0.064	1.154	2.086	2.124
	3	0.037	0.077	1.045	1.898	2.106
	4	0.019	0.058	1.024	2.052	2.147
	5	0.021	0.071	1.103	1.964	2.233

表 4 两组测量工具测量结果的绝对误差
Table 4 Absolute errors of measurement results
based on two sets of measuring tools

力值/kN		2.50	6.50	10.00	15.00	断裂
纵向变形 量/mm	1	0	-0.002	-0.002	-0.001	-0.003
	2	0.001	-0.007	0	0.009	0.008
	3	0.002	-0.004	0.007	-0.014	0.006
	4	0.009	-0.009	-0.001	-0.011	0.001
	5	0	0.003	0.003	-0.001	0.001
平均值/mm	1—5	0.0024	-0.0038	0.0014	-0.0036	0.0026
横向变形 量/mm	1	-0.001	-0.005	-0.007	-0.002	-0.005
	2	-0.002	-0.001	0.006	-0.001	0.001
	3	-0.003	-0.003	-0.010	-0.004	-0.002
	4	-0.003	-0.003	-0.004	-0.001	-0.004
	5	0.001	0.001	0.002	-0.001	-0.003
平均值/mm	1—5	-0.0016	-0.0022	-0.0026	-0.0018	-0.0026

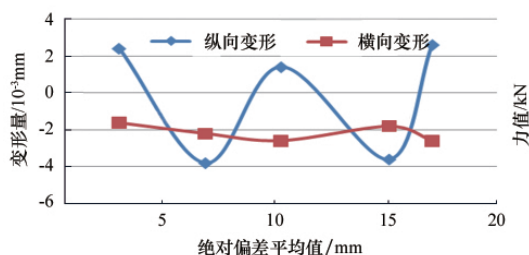


图 1 绝对偏差平均值与试验力之间的关系
Fig. 1 Relationship between average value of absolute error and test force

3 结果分析

3.1 2A12T4 铝合金的变形特性

从表 2、表 3 可以看出,在试验力为 0—10kN 范围内,随着试验力的增大,试样的变形也不断增大,且基本呈线性关系,纵向和横向变形比较均匀,变形量较小,材料处于弹性变形阶段;在试验力为 10—15kN 范围内,变形加剧,变形量明显增加,这时试样产生了不能恢复的永久变形,因该材料的

屈服强度 $\sigma_{f0.2}$ 不小于 295MPa, 一般不高于 375MPa^[6], 也就是在试验力 11—14kN 之间进入屈服阶段, 发生了塑性变形, 随着试验力的增加, 试样截面局部区域迅速减小, 产生颈缩现象, 变形不断增大; 在试验力为 15—17kN 范围内, 试样变形量继续增加, 颈缩进一步加剧, 抵抗外力的能力下降, 直到发生断裂。在此过程中, 用非接触式视频引伸计测量的结果完全反映了材料的变形情况。

3.2 非接触式视频引伸计在拉伸试验测量中的可靠性分析

分别在 2.5、6.5、10、15kN 的试验力作用下进行 2A12T4 铝合金型材拉伸试验,用非接触式视频引伸计的自动跟踪测量结果,对比用电子应变引伸计进行测量试验过程中试样长度方向的变形量、千分尺测量宽度方向的缩减量、工具显微镜测量断裂后在长度和宽度方向的变形量,这样就可以最大限度地减少人为造成的各种误差,使对比试验更加准确可靠。从试验数据可以看出,用电子应变引伸计、千分尺、工具显微镜测量的结果略小于非接触式视频引伸计的测量结果,其主要原因是停止加荷后试样有微小的弹性恢复。从图 1 可以看出,试样纵向变形绝对偏差的平均值在 $-0.0038 \sim -0.0026\text{mm}$ 之间波动,横向变形绝对偏差的平均值在 $-0.0026 \sim -0.0016\text{mm}$ 之间波动,此偏差与使用其他测量工具测量的 0.02mm 误差相比非常小,完全满足生产实际的需要。

4 结论

通过对 2A12T4 铝合金型材的试验分析,得到采用非接触视频引伸计测量材料的力学性能指标,如伸长率、断面收缩率、屈服强度等,能够完全满足生产和试验研究的需要。非接触式视频引伸计可用于生产过程中试样纵、横向变形的测量,但不同宽度的试样要采用不同的焦距。

参考文献 (References)

- [1] 陈月婷. 视频引伸计测量技术初探[J]. 工程与试验, 2009(1): 1-2.
Chen Yueting. *Engineering and Testing*, 2009(1): 1-2.
- [2] 王庆有, 于涓汇, 郭青, 等. 利用线阵 CCD 非接触测量材料变形量的方法[J]. 光电工程, 2002, 29(4): 20.
Wang Qingyou, Yu Juanhui, Guo Qing, et al. *Opto-electronic Engineering*, 2002, 29(4): 20.
- [3] 徐亮, 李新军, 吕晓东. 基于机器视觉非接触测量金属应变变量[J]. 机械工程与自动化, 2006(1): 73-74.
Xu Liang, Li Xinjun, Lu Xiaodong. *Mechanical Engineering and Automation*, 2006(1): 73-74.
- [4] 方菲, 王红平, 曹国华. 材料拉伸过程径缩量非接触检测方法的研究[J]. 长春理工大学学报, 2004, 27(3): 89-91.
Fang Fei, Wang Hongping, Cao Guohua. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 2004, 27(3): 89-91.
- [5] 范钦珊, 殷雅俊. 材料力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 20.
Fan Qinshan, Yin Yajun. *Mechanics of materials* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004: 20.
- [6] 国家有色金属工业局. GB/T6892—2000, 工业用铝及合金热挤压型材[S]. 北京: 中国标准出版社, 2000.
National Bureau of Nonferrous Metals Industry. GB/T6892—2000, Industrial use of aluminum and aluminum alloy extruded profiles[S]. Beijing: China Standards Press, 2000. (责任编辑: 马宇红, 代丽)