

基于 CCD 的激光束自适应测量及其焊接补偿器的设计*

张潞英¹, 任 萍², 赵慧民³

(1. 佛山科学技术学院光电子与物理系, 广东 佛山 528000;

2. 华南理工大学自动化学院, 广东 广州 510640;

3. 佛山科学技术学院电子信息工程系, 广东佛山 528000)

摘 要: 为了获取 CCD 激光焊接的精确定位并减小 CCD 噪声对激光加工件测量的影响, 通过改变积分项及其范围, 提出一种激光束宽的自适应方法来确定被焊接工件的轨迹。同时, 充分利用图像传感器技术和计算机对 CCD 图像处理的功能, 对待激光焊接的加工件缝隙进行数据采集和分析, 进行激光焊接补偿器的设计, 达到了对已知设定的激光焊接轨迹进行补偿。通过实验设计和物理模拟仿真实验, 该方法能够精确地确定激光焊接的加工件积分范围, 并可以有效地修正实际焊接轨迹, 进而提高激光焊接的精度和质量, 结果表明了该方法的可行性。

关键词: 激光束宽; 激光焊接; 焊接补偿器; CCD; 物理模拟

中图分类号: TN247 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2008) 04-0043-05

CCD (Charge Coupled Devices) 电荷耦合器件, 是 20 世纪 70 年代初发展起来的新型半导体器件, 它将图像光信号转换成电信号为目的, 其应用于激光焊接是激光加工行业中最重要应用技术之一, 目前大约有 50% ~ 70% 的汽车零件部件都用到了 CCD 激光加工技术。但由于激光焊接技术的复杂性, 在实际焊接过程中不可避免地存在着各种干扰, CCD 测量也存在一些不可避免的问题, 其中随机噪声是最突出的影响。因此, 在激光焊接时, 确定激光束宽是第一要素。其它参数的获取都要通过束宽计算得出。

目前, 基于 CCD 激光焊接加工技术主要采用面阵 CCD 探测系统进行^[1], 这种现用技术主要考虑了系统的噪声影响。而在实际生产过程中, 确定激光束宽的计算定位后, 由于被焊接加工工件的焊缝轨迹往往与已知 CCD 设定的焊接轨迹存在不吻合以及误差, 可能直接影响激光焊接加工的质量。针对这个问题, 本文结合激光束宽自适应测量技术和图像传感技术, 先对激光束宽进行获取, 然后对被加工工件进行图像数据采集和处理, 最后对已知设定的激光焊接轨迹再进行补偿和修正, 实现了一种新颖的 CCD 激光焊接应用系统。

1 基本原理和方法

1.1 系统的组成

如图 1 所示, 本系统主要由激光光路 (光束)、CCD 传感器、计算机和驱动机构组成。工作过程是, 激光光源将参考光照射在被切割工件表面上, 通过应用 CCD 成像, 摄取图像信息, 结合数字图像处理技术, 采集待加工工件的图像, 并输入计算机然后对所采集的图像进行处理, 得到待焊接的轨迹信息。计算机利用该图像信息通过图像识别和边缘检测等相应的算法最终提取出矢量化的焊接轨迹, 然后将其轨迹坐标数据以文件的形式保存起来, 激光焊接系统通过读取这些焊接轨迹信息文件并进行编程, 最后控制焊接的精度和质量。

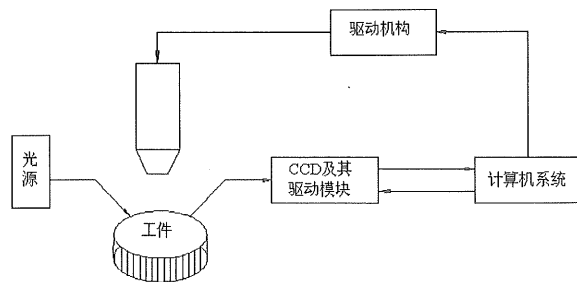


图 1 CCD 激光焊接的系统结构

Fig. 1 Laser welding system based on CCD

* 收稿日期: 2008-02-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (10547108)

作者简介: 张潞英 (1965 年生), 女, 工程师; E-mail: lovelylyuing@163.com

1.2 激光束宽的自适应测量与定位

激光焊接过程由于电流波动以及激光束宽对系统测量本身的影响,不可避免地使所得图像含有大量干扰信号,严重的还可能淹没焊接轨迹的特征信号。因此,必须先对 CCD 激光图像的数据测量进行计算和精确定位。其中,首先要考虑激光束宽的具体设定。

根据 ISO11146 标准,激光束宽对焊接工件的定位可以用二阶矩定义。工件上 x 和 y 方向的束宽分别为:

$$\begin{cases} d_x = 4 \times \sigma_x \\ d_y = 4 \times \sigma_y \end{cases} \quad (1)$$

令光束横截面在焊接工件上的强度分布为 $I(x, y)$, 其二阶矩为:

$$\begin{cases} \sigma_x^2 = \frac{\iint I(x, y) (x - \bar{x})^2 dx dy}{\iint I(x, y) dx dy} \\ \sigma_y^2 = \frac{\iint I(x, y) (y - \bar{y})^2 dx dy}{\iint I(x, y) dx dy} \end{cases} \quad (2)$$

式中,光束确定的工件轨迹中心位置的坐标 $(\bar{x}, \bar{y})$ 可用光束强度分布的一阶矩表示:

$$\begin{cases} \bar{x} = \frac{\iint x I(x, y) dx dy}{\iint I(x, y) dx dy} \\ \bar{y} = \frac{\iint y I(x, y) dx dy}{\iint I(x, y) dx dy} \end{cases} \quad (3)$$

对于 CCD 测量系统,某一点的光强度值可用该点的灰度值来表示。在 CCD 输出信号中,包含着像元固有的暗电流噪声、电荷转移噪声、信号起伏噪声和输出级的 KTC 噪声以及 $1/f$ 噪声等。CCD 的输出信号正比于激光束光强分布与 CCD 噪声分布的叠加,可用公式表示为:

$$I'(x, y) = I(x, y) + N(x, y) \quad (4)$$

其中, $I'(x, y)$ 为 CCD 输出信号,对应于灰度分布图像。 $N(x, y)$ 为 CCD 噪声,一般可以认为对于 CCD 探测面的 (x, y) 平面上每一个点,且独立同分布。同时只考虑 CCD 主要噪声,可用高斯白噪声表示。此时, (2) 式为 (只考虑 x 方向):

$$\sigma_x^2 = \frac{\iint I'(x, y) (x - \bar{x})^2 dx dy}{\iint I'(x, y) dx dy} \quad (5)$$

可以看出,当存在噪声,远离光束中心的积分点会由于二阶项 $(x - \bar{x})^2$ 的引入而迅速增大,使得积分

不收敛。此时,对于积分窗口的选择是必要的,令:

$$\sigma_x'^2 = \frac{\iint [I'(x, y) + c] (x - \bar{x})^2 dx dy}{\iint [I'(x, y) + c] dx dy} \quad (6)$$

式中, c 为常数,其物理意义是激光光斑在工件平面上每一个积分点上加上一个恒定灰度值。为简单起见,假定光斑中心与坐标轴原点重合,修改 (5) 和 (6) 分母积分范围,使其为整个光斑平面, x 方向束宽积分范围如图 2。

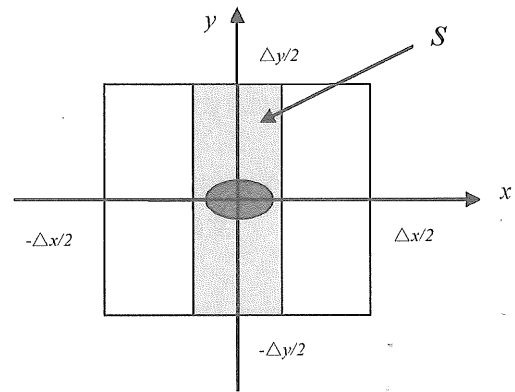


图 2 激光束宽沿 x 轴的积分范围

Fig. 2 Integral range of laser beam width along x - direction

计算 x 方向束宽时,分子积分区域为 S 平面。即 x 方向积分范围是关于 y 轴对称变化的,而 y 轴积分范围不变,仍为 $(\Delta y/2, -\Delta y/2)$ 。则 (5) 和 (6) 式变为:

$$\sigma_x^2 = \frac{\iint_S I'(x, y) (x - \bar{x})^2 dx dy}{\int_{-\Delta y/2}^{\Delta y/2} \int_{-\Delta x/2}^{\Delta x/2} I'(x, y) dx dy} \quad (7)$$

$$\sigma_x'^2 = \frac{\iint_S [I'(x, y) + c] (x - \bar{x})^2 dx dy}{\int_{-\Delta y/2}^{\Delta y/2} \int_{-\Delta x/2}^{\Delta x/2} [I'(x, y) + c] dx dy} \quad (8)$$

这样,又 (6) 和 (7) 就可以自适应确定 (1) 式中激光束宽,为下一步提取出矢量化的焊接轨迹提供了精确的测量定位。

2 补偿器设计与实验设计

经过激光束宽的计算处理后,就要进行焊接轨迹的边缘检测了。常用的边缘检测方法是对原始图像按像素的某领域构造边缘检测算子,通过一定的边缘检测算法,确定焊接轨迹的形状特征参数,最终提取出矢量化的焊接轨迹,然后将其轨迹坐标数据以文件的形式保存起来,激光焊接系统通过读取

这些焊接轨迹信息文件进行编程控制。整个焊接轨迹图像处理流程图如图3所示。

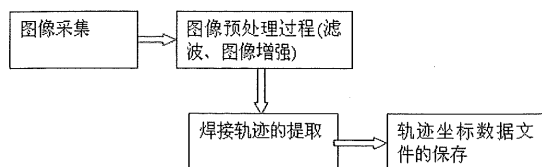


图3 焊接轨迹图像处理流程图

Fig. 3 Flow diagram of welding trajectory image process

我们以焊接轨迹较为复杂的圆为例来介绍 CCD 激光图像数据测量后的补偿原理 (图4, 5):

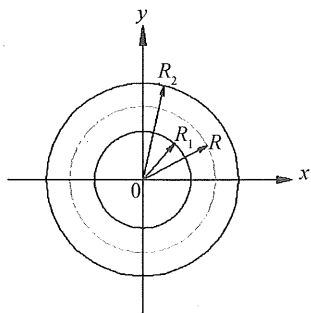


图4 焊接轨迹示意图 I

Fig. 4 Welding trajectory schematic drawing 1

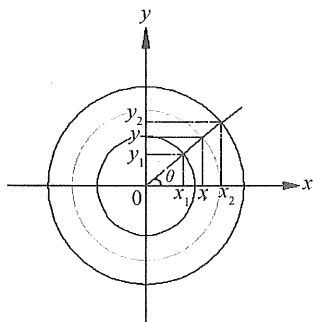


图5 焊接轨迹示意图 II

Fig. 4 Welding trajectory schematic drawing 2

如图4所示, 被焊接工件的内圆半径为 R_1 , 外圆半径为 R_2 , 焊接轨迹半径为 R , 理想的焊接轨迹应居中, 即 $R = \frac{R_1 + R_2}{2}$ 。但在实际加工过程中, 加工工件的焊接边缘几乎不可能完全符合要求, 任取加工工件上的一点, 存在一定的偏离量, 则 R_1 和 R_2 的值实际上要经过修正的, 即有 $R_{1act} = R_1 + \Delta R_1$; $R_{2act} = R_2 + \Delta R_2$ 。其中: R_{1act} 为内圆半径的实际值; ΔR_1 为内圆半径的偏离量; R_{2act} 为外圆半径的实际值; ΔR_2 为外圆半径的偏离量。这样焊接轨迹半径为

$$R_{act} = R + \Delta R = \frac{R_{1act} + R_{2act}}{2} =$$

$$\frac{R_1 + \Delta R_1 + R_2 + \Delta R_2}{2} \quad (9)$$

式中, R_{act} 为焊接轨迹半径的实际值; ΔR 为焊接轨迹半径的补偿量, 有 $\Delta R = \frac{\Delta R_1 + \Delta R_2}{2}$ 。结果表明, 焊接轨迹的补偿修正量可由图像采集处理得到的 ΔR_1 、 ΔR_2 求出。

图5中, 假设圆心处有一条与 x 轴夹角为 θ 的射线, 与内圆、外圆和焊接轨迹的交点坐标分别为 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 和 (x, y) 。则有:

$$\begin{cases} x_1 = R_1 \cos \theta \\ y_1 = R_1 \sin \theta \end{cases}; \begin{cases} x_2 = R_2 \cos \theta \\ y_2 = R_2 \sin \theta \end{cases}; \begin{cases} x = R \cos \theta \\ y = R \sin \theta \end{cases}; \quad (10)$$

$$x_{1act} = x_1 + \Delta x_1; \quad (11)$$

$$x_{2act} = x_2 + \Delta x_2; \quad (12)$$

其中: x_{1act} 为 x_1 的实际值; Δx_1 为 x_1 的偏离量; x_{2act} 为 x_2 的实际值; Δx_2 为 x_2 的偏离量。实际上, $x_{1act} = R_{1act} \cos \theta = (R_1 + \Delta R_1) \cos \theta$ 。则有

$$\Delta x_1 = \Delta R_1 \cos \theta; \quad (13)$$

同理可得,

$$\Delta y_1 = \Delta R_1 \sin \theta; \quad (14)$$

$$\Delta x_2 = \Delta R_2 \cos \theta; \quad (15)$$

$$\Delta y_2 = \Delta R_2 \sin \theta; \quad (16)$$

即 $\Delta x_1, \Delta y_1$ 为 ΔR_1 的分解量; $\Delta x_2, \Delta y_2$ 为 ΔR_2 的分解量; 而 $x_{act} = x + \Delta x = \frac{x_{1act} + x_{2act}}{2} =$

$\frac{x_1 + \Delta x_1 + x_2 + \Delta x_2}{2}$, 其中 x_{act} 为 x 的实际值; Δx 为 x 偏离量。可推出

$$\Delta x = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{2} \quad (17)$$

$$\Delta y = \frac{\Delta y_1 + \Delta y_2}{2}; \quad (18)$$

结合 (13)、(15)、(17) 式可推出 $\Delta x = \Delta R \cos \theta$; 同理, 可推出 $\Delta y = \Delta R \sin \theta$ 。即 $\Delta x, \Delta y$ 为补偿修正量 ΔR 的分解量, 且对应于激光束宽的自适应测量范围。

在实验室中, 我们用 JC—BS629 型 CCD 摄像机, DH - CG200 采集卡, 欧鹏科技的 XYZ202020SLBR 三维直线工作平台等设备, 对上述补偿思想做实验设计。用记录笔替代激光焊枪做了大量物理仿真实验, 其仿真曲线如图6所示。图7为焊接轨迹随补偿器的光强自适应分布。

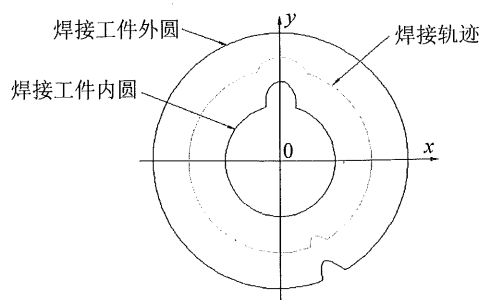


图 6 焊接轨迹仿真曲线

Fig. 6 Simulation curve of welding trajectory

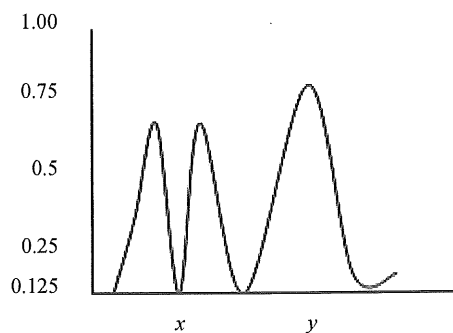


图 7 焊接轨迹的光强分布

Fig. 7 Light intensity distribution of welding trajectory

结果表明, 仿真曲线对内圆半径 R_1 和外圆半径为 R_2 径的变化都做出了相应的补偿, 证明了该方法是有可行性的。

3 结 语

提出一种新的自适应方法来确定理想积分范围大小, 从而获取准确的激光束宽对焊接工件的定位。结合 CCD 图像处理技术, 同时对实际待加工件的轨迹进行采集和处理, 可得到补偿于理想焊接轨迹的实际焊接轨迹, 物理仿真实验结果证明了其可行性和有效性。把该方法运用于实际生产过程, 将可以大大提高激光焊接的精度和质量, 有很好的应用前景。

参考文献:

[1] 向晓燕, 陈海清, 吴鹏, 等. 基于 CCD 的激光束宽自适应测量算法[J]. 激光技术, 2006, 30(5): 552 - 554.

- XIANG Xiaoyan; CHEN Haiqing; WU Peng. Adaptive measuring algorithm of laser beam width based on CCD [J]. Laser Technology, 2006, 30(5): 552 - 554.
- [2] 王庆有. CCD 应用技术[M]. 天津: 天津大学出版社, 2000: 164 - 166.
- WANG qingyou. CCD application technique [M]. Tianjin: Tianjin University Press, 2000: 164 - 166.
- [3] 霍宏涛. 数字图像处理[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2002: 113 - 115.
- HUO hongtao. Digital image process [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2002: 113 - 115.
- [4] 黄万群, 张义顺, 邵成吉. CCD 视觉传感器及图像处理技术在焊缝自动跟踪中的应用[J]. 沈阳工业大学学报, 2001, 23(2): 12 - 14.
- HUANG Wanqun, ZHANG Yisun, SHAO Chengji. Application of CCD vision sensor and image processing technology in seam automatic tracking [J]. Journal of Shenyang Polytechnic University, 2001, 23(2): 12 - 14.
- [5] AGAPIOU G, KASIOURAS C, SERAFETINIDES A. A detailed analysis of the MIG spectrum for the development of laser-based seam tracking sensors [J]. Optics & Laser Technology, 1999, 31: 157 - 161.
- [6] LEE S K. A study on automatic seam tracking in pulsed laser edge welding by using a vision sensor without an auxiliary light source [J]. Journal of Manufacturing Systems, 2002, 21(4): 302 - 315.
- [7] RICHARD A P. A new algorithm for image noise reduction using mathematical morphology [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1995, 4(3): 554 - 568.
- [8] SIEGMAN A E. Defining the effective radius of curvature for a non-ideal optical beam. IEEE Journal of Quantum Electronics. 1991, 27: 1146 - 1148.
- [9] HAFERKAMP H, VON A M, GOEDE M, et al. Fatigue strength of laser beam welded magnesium alloys [C] // Proceedings of the 32nd international symposium on automotive technology and automation (ISATA) on advances in automotive and transportation technology and practice for the 21st century, Vienna, Austria, 1999.
- [10] DAVIS M, KAPADIA P, DOWDEN J. Modelling the fluid flow in laser beam welding [J]. Welding J, 1986, 17: 167 - 74.

(下转第 50 页)

Pure Ferroelectric Hysteresis Loop of Lead Zirconate Titanate Ceramics

ZHU Gui-wen¹, SHEN Han², LIU Jun-diao³, Ruan Kai-bin², CHEN Min²,

(1. Guangdong Pharmaceutical University, Guangzhou 510006, China;

2. School of Physics and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

3. Department of Electronics, Huizhou Institute, Huizhou 516007)

Abstract: Hysteresis loop and differential hysteresis loop of $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.48}\text{Ti}_{0.52})\text{O}_3$ (PZT) ceramics have been measured in the temperatures from 0 to 150 °C. It is found that with the increase of temperatures, the height of hysteresis loop becomes larger, which is conflictive to the phenomenological theory of ferroelectricity. For this reason, a more precise measuring method for obtaining pure ferroelectric effect based on differential hysteresis loop is proposed. Using this method, the influence of DC conductance, non-ferroelectric linear capacitance can be eliminated, and obtain the signal of pure ferroelectric effects. The experimental result is in agreement with the existence of morphotropic phase boundary in PZT.

Key words: hysteresis loops; ferroelectric parameter; lead zirconate titanate

(上接第 46 页)

Adaptive Measuring Method of Laser Beam Width Based on CCD and Design of Laser Welding Compensator

ZHANG Lu-ying¹, REN Ping², ZHAO Hui-min³

(1. Department of Photoelectron and Physics, Foshan University, Foshan 528000, China;

2. College of Automation Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

3. Department of Electronic and Information, Foshan University, Foshan 528000, China)

Abstract: To obtain the precise localization of laser welding beam and mitigate the influence of CCD noise on measuring result of the workpieces that needs laser welding, an adaptive measuring method of laser beam width is presented to define the welding trajectory of the workpieces through varying the integral part and integral area. Meanwhile, by making the most use of image sensor CCD technique and the image processing technique of computer, the image data of the welding seam on workpieces could be collected and processed. Further more, the design of laser welding compensator is presented which is proposed to compensate the laser welding trajectory with the known setting trajectory. This method can define the integral area of the workpieces and effectively modify the welding trajectory in practice while improving its quality and precision, and the result of experiment design and the physical simulation shows that this method is feasible.

Key words: laser beam width; laser welding; welding compensator; CCD; physical simulation