

文章编号: 1001-3806(2007)04-0367-03

TIG 焊快速制造激光视觉检测系统的研究

罗 勇¹, 张 华², 李月华², 肖 敏², 徐健宁²

(1. 江西理工大学 南昌校区信息工程系, 南昌 330013; 2. 南昌大学 机电研究所 机器人与焊接自动化重点实验室, 南昌 330029)

摘要: 为了研究钨极惰性气体保护焊 (TIG) 快速制造中金属结构成形的效果及工件变形情况, 获取金属结构高度及其变化范围, 通过对激光视觉传感所得到的图像进行分析, 采用激光视觉检测的方法, 制作了一种激光视觉检测系统。经与实验获得的实际金属结构高度数据对比, 得到金属结构高度检测的误差在单道焊缝的自然成形的高度误差范围内的结果。结果表明, 该方法可以比较有效地获得金属结构高度及母材工件变形情况。

关键词: 激光技术; 激光视觉; 钨极惰性气体保护焊快速制造; 检测系统; 金属结构

中图分类号: TN247 **文献标识码:** A

Research of TIG welding rapid prototyping laser vision detecting system

LUO Yong¹, ZHANG Hua², LI Yue-hua², XIAO Min², XU Jian-ning²

(1. Nanchang Campus Department of Information Engineering Jiangxi Science and Engineering University, Nanchang 330013, China; 2. Robot and Weld Automation Important Laboratory Machine and Electricity Graduate School, Nanchang University, Nanchang 330029, China)

Abstract In order to study the effect of metal fabric and distortion of work piece in tungsten inert gas (TIG) welding rapid prototyping and obtain the height and variety range of metal parts, the method of the laser vision detecting was used to establish a detecting system to analyze the obtained image. After comparing the detecting result and the actual height of metal parts, it showed that the detecting error was in the nature figuration error range of one welding seam. Results prove that this method can be used to detect the height and distortion of work piece effectively.

Key words laser technique; laser vision; tungsten inert gas welding rapid prototyping; detecting system; metal fabric

引 言

近年来, 对于焊接快速制造的研究越来越多, 其研究的重点主要是在焊接工艺上, 对于快速制造过程中系统的反馈控制方案讨论得很少, 而这方面将是今后焊接快速制造成功与否的关键^[1-4]。

在惰性气体的保护下, 利用钨电极与工件之间产生的电弧热熔化母材和填充焊丝的焊接方法称钨极惰性气体保护焊 (tungsten inert gas TIG)。

TIG 焊快速制造是将 TIG 焊工艺运用到快速制造中的一种方法, 致力于高致密度的金属结构制造, 拥有广泛的发展前景。对于 TIG 焊快速制造过程中信息的获取将直接影响反馈控制的对象及方案^[5-9], 下面将对 TIG 焊快速制造中激光视觉检测系统如何获取 TIG

焊快速制造过程中的信息进行研究。

1 TIG 焊快速制造中金属结构成形的特点

TIG 焊快速制造系统的工作原理: 通过工业控制计算机对金属结构进行造型、模型处理与切片生成 STL 文件后, 生成数控代码, 控制铣床按照一定的轨迹工作, 采用 TIG 电弧作为加热源, 熔化焊丝堆积成型。由于 STL 文件是针对于金属结构的高度方向进行层切片。所以 TIG 焊快速制造金属结构的加工过程如下: (1) 根据数控代码, 采用 TIG 焊熔化焊丝提供成形材料, 堆焊每一道焊缝金属结构; (2) 检测金属结构信息, 调节焊接工艺, 控制堆焊过程, 重复地堆焊完成整个零件的堆积; (3) 最后用数控铣床清理轮廓边界, 使其达到所要求的零件的精度。

如果在每一道焊缝的堆积过程中, 改变主要焊接工艺参数, 例如焊接电流、焊接速度、送丝速度等, 都会直接影响到该条焊缝的完整性, 且对于偏差较大的单道焊缝的修补比对于一层金属结构的修补要困难很多。因此, TIG 焊快速制造金属结构的关键就是如何获取足够的金属结构信息

作者简介: 罗 勇 (1981-), 男, 硕士, 助教, 主要研究领域为图像处理及信息系统。

Email: luoyong19811020@163.com

2 TIG焊快速制造系统中激光视觉检测系统的硬件组成及定标

图 1 为激光视觉检测系统的硬件组成结构。在激

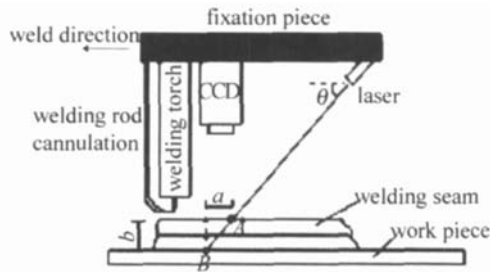


Fig 1 Hardware compose fabric

光视觉传感系统中的 CCD 选用可调焦黑白摄像机 23K9HC, 其尺寸为 73mm × 38mm × 38mm (深 × 高 × 宽); 激光器为红光一字线激光器 LH 650-4-3 (5), 其最佳工作范围为 0.5m ~ 3m, 外形尺寸 ∅12mm × 32mm, 光束发散度 1.0mrad, 输出波长 650nm。图 1 中 θ 为激光器与水平面的夹角, a 为激光在焊缝和工件上的激光光线在水平面的距离, 焊缝高度 b 的求解公式为:

$$b = a \tan \theta \quad (1)$$

对于视觉系统的定标, 采取在白纸上画网格, 每个网格的尺寸为 10mm × 10mm, 放在 CCD 的正下方, 不断地加大 CCD 与白纸之间的距离, 每提高 0.5m 拍摄一次图像, 对图像中每个网格所占的像素的个数 S 进行统计, 可得出该位置上每个像素对应实际的尺寸为 $10/\sqrt{S}$ mm, 记录下从 10cm 到 20cm 常用工作范围的定标值。通过各种尝试, 激光器与水平线为 30° 到 45° 夹角最佳。

金属结构的信息主要包括: 金属结构高度, 工件变形程度。由于焊接本身存在一定的不规则性, 金属结构高度在同一层会有所改变。工件的变形主要是由于在金属结构的堆积过程中不断的受热和散热造成的, 其变形的程度将直接影响金属结构的堆积。

3 图像处理算法及金属结构信息获取

对于金属结构的信息获取主要是在每一层金属结构堆焊完成后, 立即以重复堆焊该层结构焊枪运行轨迹带动视觉系统对金属结构进行扫描, 以 1s 为图像采样及处理时间。其图像处理步骤如图 2 所示。

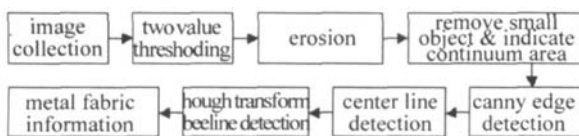


Fig 2 The step of image processing

该组合式图像处理算法中的二值化、数学形态学腐蚀、canny 边缘提取、霍夫变换检测直线都是比较经典的^[10] 其中 二值化时, 采用灰度直方图中的最大值

前的谷值作为图像的阈值, 通常为灰度值 200 左右。为了不改变图像的原本边缘信息, 做腐蚀处理时选择的结构元素为半径为 2 个像素的圆形结构元素。

假设二值图像的大小为 $\{I_m \times n\}$, 其中 I 表示二值图像的像素个数, m 表示图像的行数, n 表示图像的列数; 图像中的连续块 (连续区域或由连续边缘围成的区域) 的大小为 $\{K_{i \times j}, i \in (0, m), j \in (0, n)\}$, K 表示连续块的像素个数, i 表示连续块的行数, j 表示连续块的列数。形态学中二值图像去除小物体算法的公式如下:

$$\begin{cases} K_{i \times j} = K_{i \times j} & (i \times j > Y) \\ K_{i \times j} = 0 & (i \times j < Y) \end{cases} \quad (2)$$

式中, $0_{i \times j}$ 为与背景同灰度值矩阵, Y 为像素阈值数。在这里主要用于去除图像中的离散亮点噪声, 像素阈值数通常为 20。

对于有多个分层的金属结构, 在获取信息时还必须对图像中的连续区域进行标示, 其原理是对二值化后的图像, 使其像素值为 0 和 255, 从图像左上方开始, 像素 A 的八邻域如图 3 所示, 若邻域中的 1, 2, 3, 4, 5

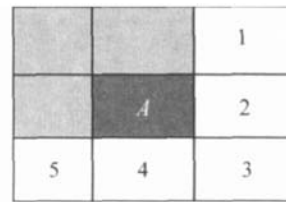


Fig 3 Adjacent field of dot A

位置的像素灰度值不都等于 0 则将 A 赋予某一灰度值 (通常为从 10 到 250 的整数), 再按从位置 1 (最高优先级) 到位置 5 (最低优先级) 的次序扫描图像, 当像素 A 邻域中的 1, 2, 3, 4, 5 位置的像素灰度值都等于 0 时, 点 A 为连续区域的最终点。再次从图像左上方开始扫描图像, 直到 A 点中的位置 3 为图像的最右下方点为止。在霍夫变换提取直线后, 除了直线通过的工件基准激光区域外, 不同标示的连续区域, 代表不同的层次。

中心线的提取是当图像经过边缘提取处理后, 为了忽略干扰, 令只包含两个边界像素点的每一行求出, 两个边界像素点的列平均值作为中心线。最后通过霍夫变换检测直线, 可以获得直线及其倾斜角度, 从而获取金属结构信息。

4 实验结果

图 4 为墙体金属结构激光视觉图像的处理结果。图 4a 为 TIG 焊快速成形工艺堆积的 17 层墙体金属结构, 在堆焊过程中的主要焊接参数: 电流在第 1 层为 140A, 第 2 层为 105A, 第 3 层为 95A, 从第 4 层开始保持电流为 85A; 送丝速度始终保持 120cm / m in, 焊接速度始终为 每 层的上升高度均为 图 4b

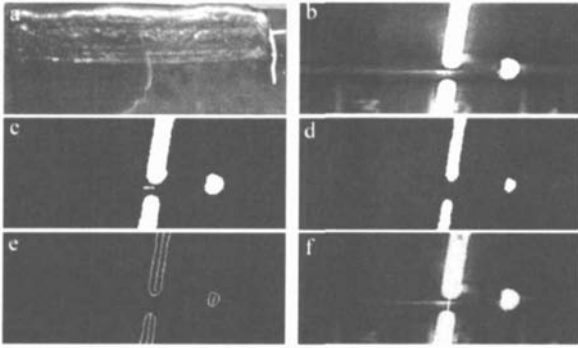


Fig 4 The result of wall metal fabric laser vision image processing
a—wall metal fabric b—original laser vision image c—two value thresholding d—erosion and remove small objects e—edge and center line detection f—Fig 1b with hough transform beeline detection

中 CCD 到工件表面的高度为 10cm, 每个像素边长对应着实际工件上的长度为 0.1615mm。图像处理结果中(见图 4f)由霍夫变换检测的直线为工件上激光所在直线, 该直线像素的列平均值 $a_1 = 128$, 在直线的右边检测到的连续区域为墙体上的激光, 其中心线列平均值 $a_2 = 242$, (1)式中的 $a = |a_2 - a_1| = 114$ 个像素距离。通过 (1) 式计算得墙体在该点的高度为 18.411mm, 墙体在该点的实际高度为 18.48mm。由霍夫变换提取该直线的角度约为 85° 。扫描后得出墙体高度的最大值为 18.734mm, 最小值为 16.6345mm, 表面偏差达到了 1mm; 由霍夫变换提取每幅图像中直线的角度变化范围为 83° 到 90° , 角度的偏差平均值为 7° , 超过了 5° , 工件的变形不可容忍, 该金属结构不符合堆积要求。

图 5 为砖体和桶体金属结构的检测。从图 5a 中

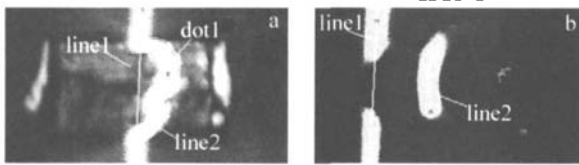


Fig 5 Detecting different metal fabrics
a—brick metal fabric b—bucket metal fabric

可以看出, 该算法可以很好地处理高速拍摄图像时的边界模糊问题。对砖体的检测中点 1 和点 2 分别代表了第 3 层和第 2 层检测到直线的中心点, 通过计算到工件上激光的中心线线 1 的垂直距离, 分别为 33 个像素及 22 个像素, 即这两点高度分别为 5.168mm 和 3.553mm, 这两点实际焊缝对应高度分别为 5.22mm 和 3.38mm。扫描后得出砖体角度的偏差平均值为 4° , 工件变形可容忍。图 5b 中线 2 的列平均值与线 1 的列平均值之差为焊缝高度, 为 112 个像素差, 则该点桶体的高度为 18.088mm, 该点桶体实际高度为 18.12mm。

扫描后得出桶体高度的最大值为 18.411mm, 最小值为 17.765mm; 整个桶体角度的偏差平均值为 3° , 工件变形可容忍。

5 结 论

提出了一种 TIG 焊焊缝激光视觉检测系统, 该方法是对 TIG 焊快速成形中金属结构高度检测的一种创新性研究, 通过与实验获取的数据对比, 该系统的检测结果与实际情况相符。该系统的提出成功解决了在金属结构的制造过程中无法检测金属结构高度及工件变形这一重要问题。其测量误差的来源主要有: 焊缝形成时, 金属熔池的不完全叠加; 电弧漂移使得焊缝受热不均匀; 工件表面的粗糙度的变化; 激光的发散; 环境光的影响; 对于金属结构高度人工测量值的误差等因素造成。但随着金属高度的增加, 系统对金属结构检测时的相对误差会越来越小。该检测方法比较以往的超声波、接触式测量的优点是结构简单, 对金属结构的堆积过程影响更小, 实验过程对测量结果的影响更小。该方法的测量精度在单道焊缝形成的自然高度误差 ($\pm 0.3\text{mm}$) 范围内, 因此, 完全可以满足对金属结构的高度检测。

参 考 文 献

- [1] BEHREND T, SHELLABEAR M. The EOS rapid prototyping concept [J]. Computers in Industry, 1995, 28(8): 57~61
- [2] DONATIL B, TOMESANIL A. The prediction of seam welds quality in aluminum extrusion [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2004, 153(10): 366~373
- [3] WANG H J, JIANG W H, OUYANG JH *et al*. Rapid prototyping of 4043 Al alloy parts by VPG-TAW [J]. International Journal of Machine Tools and Manufacturing, 2004, 148(1): 93~102
- [4] SONG Y A, PARK S Y. Experimental investigations into rapid prototyping of composites by novel hybrid deposition process [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2006, 171(6): 35~40
- [5] HUANG Y M, LAN H Y. CAD/CAE/CAM integration for increasing the accuracy of mask rapid prototyping system [J]. Computers in Industry, 2005, 56(5): 442~456
- [6] NING Y. An intelligent parameter selection system for the direct metal laser sintering process [J]. International Journal of Production Research, 2004, 42(1): 183~199
- [7] YANG P, XU B Sh, WU L. Research on locating system for space weld seam [J]. Applied Laser, 2005, 25(10): 319~324 (in Chinese).
- [8] QIH B, YAN Y N, LIN F *et al*. Metal powders of selective laser sintering [J]. Laser Technology, 2005, 29(2): 183~186 (in Chinese).
- [9] ZHANG L, QIN Sh Q, WANG Sh Sh *et al*. Mini LD laser rangefinder used in intelligent vehicles [J]. Laser Technology, 2005, 29(2): 166~168 (in Chinese).
- [10] GONZALEZ R C, WOODS R E. Digital Image processing [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2002, 567~624 (in Chinese).