

文章编号:1002-025X(2009)04-0041-03

# TIG 焊快速制造堆焊质量视觉检测系统

罗 勇<sup>1</sup>, 张 华<sup>2</sup>, 王富明<sup>1</sup>

(1.江西理工大学 南昌校区 信息工程系, 江西 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, 江西 南昌 330031)

**摘要:** 介绍了 TIG 焊快速制造堆焊质量视觉检测系统结构, 提出对 TIG 焊快速制造过程中熔池邻区焊缝宽度进行检测, 通过对实时焊缝图像的处理, 获取焊缝的宽度信息, 并建立对应于空间坐标位置的焊缝宽度采样数据库, 通过数据比较, 检测出全方位的焊缝宽度变化情况, 从而判断 TIG 焊快速制造堆焊质量。

**关键词:** 快速制造; 视觉检测; 图像处理

**中图分类号:** TG444.74; TP274 **文献标志码:** B

随着将各种焊接技术用于快速制造研究的不断深入, 有许多直接由堆焊成形的金属制品不断被获取<sup>[1-2]</sup>。同时, 随着 TIG 焊快速制造工艺研究的不断完善<sup>[3-4]</sup>, 对于这些金属制品堆焊过程中的实时质量检测便成为摆在面前的重要问题。本文就此问题, 提出了一种新的 TIG 焊快速制造堆焊质量视觉检测系统。

## 1 TIG 焊快速制造堆焊质量视觉检测系统结构

### 1.1 常用的检测手段及其存在的问题

红外温度检测主要是获取焊缝在焊接过程中的整个温度分布情况, 从而判断焊缝质量, 但它的问题是信息传感滞后, 通常要经十分之几秒才能获得信息, 且灵敏度小, 误差大。由于温度是连续变化的, 所以采集时, 在两端的变化很大, 特别是在进行多道焊时, 温度升高会对整个检测结果有很大的影响, 易受干扰, 受环境温度和空气湿度的影响很大。

应力检测, 其数据滞后, 且受工件形状、体积及堆焊金属结构的影响较大。

超声波检测, 其成本高, 且精度小, 对于空间多面体检测效果差。

对于熔池的视觉检测<sup>[5]</sup>, 其主要是用于对焊缝成形的实时控制, 由于熔池是未成形的液态金属, 且高温使其有一定的膨胀, 对于实际焊缝的成形, 存在一

定的误差, 特别是由工件受热产生的熔池易形成伪边缘, 检测结果容易产生错误。

### 1.2 TIG 焊快速制造堆焊质量视觉检测系统结构

本文提出了一种基于对熔池后焊缝进行检测的实时检测系统, 图 1 是 TIG 焊快速制造堆焊质量视觉检测系统结构方框图。

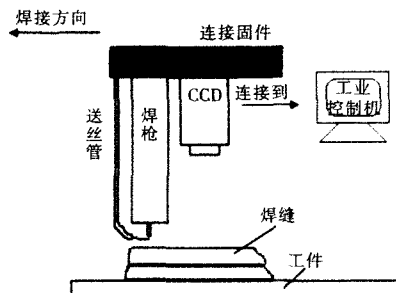


图 1 堆焊质量视觉检测系统结构方框图

图 2 是在堆焊过程中拍摄到的焊缝图像。从图 2 中可以看到, 被检测的焊缝区域是紧接着熔池区域的冷却后的金属结构。伪边缘是工件表面很薄的一层金属膜, 是工件在焊接过程中熔化所形成, 并非焊丝堆焊而成, 不是焊缝的真实边缘。

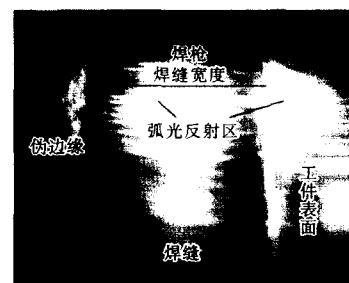


图 2 实时焊缝图像

收稿日期: 2008-09-02

基金项目: 国家“973”资助项目(2005CCA04300); 江西省自然科学基金项目(0650092)

## 2 焊缝宽度信息的检测

图 3 是焊缝宽度信息提取的图像处理过程方框图。边缘检测使用 ‘roberts’ 边缘提取算子。截取熔池后焊缝区，即图像纵向由上至下的 1/4~1/3 范围内，在获取焊缝图像之前必须对这个范围定标，确定每个像素点对应的实际尺寸。经标定，当 CCD 距离工件 (15±0.5) cm 时，每个像素点对应的实际物体大小为 0.03 mm×0.03 mm。

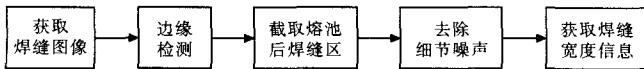


图 3 焊缝宽度信息提取的图像处理过程方框图

分别对图像中心线的左右两边去除细节噪声，具体做法是利用边缘连续的统计特性，将边缘按连续区域进行标示，其原理是边缘检测后的图像像素逻辑值为 0 和 1，从图像左上方开始，若像素 A 的八邻域如图 4 所示，邻域中的 1, 2, 3, 4, 5 位置的像素灰度值不都等于 0，就按从位置 1 (最高优先级) 到位置 5 (最低优先级) 的顺序扫描图像；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，扫描的同时统计像素点数，并将所有灰度值为 1 的点赋值为  $a$  ( $a$  在 2~255 范围内)。再次从图像左上方开始扫描图像，直到点 A 中的位置 3 为图像的最右下方点为止。若扫描到连续区域的像素点数比之前的多，则在之前连续区域的基础上赋值为  $a+1$ ；若扫描到连续区域的像素点数少于之前，则像素点赋值与之前的像素灰度赋值相同，为  $a$ 。则所得的灰度值最大的连续区域，即包含像素点数最多的连续曲线作为有效边缘。

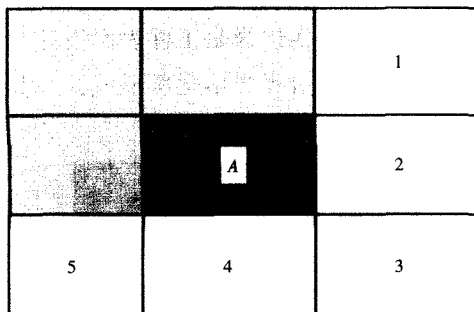
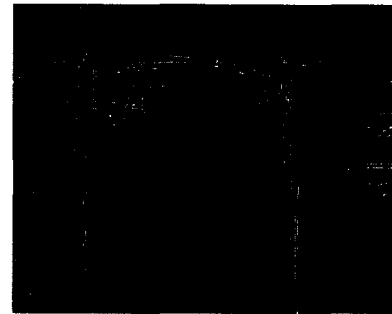


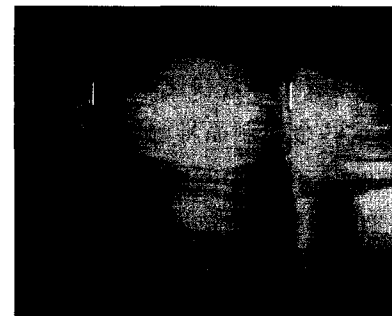
图 4 点 A 的邻域

分别求出左右有效边缘的平均像素的坐标位置，其差值即为焊缝宽度信息。图 5 是对图 2 中焊缝宽度

检测的图像处理结果。从图 5b 可以清楚地看到，所获焊缝边缘是真实的边缘结果，伪边缘没有被计算进来。计算  $y$  方向上最接近焊枪的 5 组宽度数据的平均值，作为此时熔池后焊缝区域的焊缝宽度值。经过计算，图 5b 此时的焊缝宽度为 4.98 mm。整个图像处理的时间为 0.05 s，基本满足实时性的要求。



(a) 边缘检测



(b) 检测结果与原图的融合

图 5 焊缝宽度检测的图像处理结果

## 3 TIG 焊快速制造堆焊质量的检测及试验结果

在 TIG 焊快速制造堆焊过程中每 0.1 s 进行 1 次对焊缝图像宽度的采样，将这些数据连同对应的数控机床世纪星 HNC-22M 的空间坐标生成数据库。对单条焊缝的质量检测，就是计算焊缝每一点与相邻两点的焊缝宽度差值，如果差值太大，说明焊缝宽度存在一定的不连续性，则本条焊缝是有问题的。根据工程误差中 <5% 为精确制造误差，即图 2 所在焊缝的每个焊缝宽度采样与相邻采样的差值应该 < 0.249 mm，则焊缝采用的焊接工艺效果为良好。焊缝宽度采样的最大值与最小值差为 10%，为焊缝的可允许误差，即应 < 0.498 mm。图 6 为图 2 所示的整条实际焊缝。该条焊缝每个宽度采样点与相邻采样点的差值不超过 0.18 mm。焊缝宽度采样结果的最大值与最小值的差值为 0.42 mm。



图6 整条单道实际焊缝

若对应空间高度位置的焊缝宽度采样值及上下层相邻的焊缝宽度采样值均满足差值 $<0.249$  mm, 这样堆焊出来的金属结构就是合格且一致的制品。

图7所示的是经过20层堆焊的金属结构字母NCU。每层堆焊时间间隔为30 s。在第1层堆焊时采用的工艺参数: 焊接电流为150 A, 送丝速度为600 cm/min, 焊接速度为2 100 mm/min, 电弧长度为5.4 mm, 并记为坐标高度 $z=0$  mm, 这1层的焊缝宽度采样的数据很理想, 相邻焊缝宽度采样差值不超过0.09 mm, 整个焊缝宽度采样最大值与最小值的差值为0.33 mm。

第2层堆焊时采用的工艺参数: 焊接电流为120 A, 送丝速度为600 cm/min, 焊接速度为2 100 mm/min,  $z=1.5$  mm。第2层相邻焊缝宽度采样差值不超过0.15 mm, 整个缝宽度采样最大值与最小值的差值为0.39 mm, 与第1层对应位置的焊缝宽度采样差值不超过0.15 mm, 2层焊缝宽度采样值的差值代数和为0.06 mm。



图7 20层堆焊的金属结构字母NCU

此后送丝速度、焊接速度不变, 堆焊层高度每层为1 mm, 第3层焊接电流为110 A, 第4层时为100 A, 第5层时为90 A, 第6层时为80 A, 从第7层开始, 焊接电流为70 A, 且不变。第3~8层的焊缝宽度采样的数据都比较理想, 但从第9层开始, 堆焊焊缝宽度采样值逐渐增大, 且与前1层的各采样点焊缝宽度差值均为正数, 说明焊缝宽度正在不断增大。到第20层时检测到拐点的焊缝宽度与直线部分的差值约为0.6 mm, 焊缝宽度与第1层的各采样点焊缝宽度差值代数和为6.54 mm。

通过数据分析, 可以判断该金属结构堆焊工艺不够完善, 整个金属结构不够均匀, 因为单位长度焊缝

上熔化的焊丝是同样多的, 致使焊缝变化的原因主要就是热积累, 所以在提供的能量不变的情况下, 由之前堆焊时在金属结构中残留的热量使得焊丝熔化后的液体金属的凝固时间变长, 液态金属在重力及热张力作用下会展开, 从而焊缝宽度会逐渐增加。第20层测得的焊缝宽度数据变化趋势与堆焊完成测得的金属结构高度的变化趋势成反比例关系。

#### 4 结论

本文提出一种有别于以往的焊缝检测方法, 直接对熔池邻区焊缝宽度进行检测, 从而可更好地观察焊缝的真实成形情况, 并获取数据。从实时的角度, 也基本满足要求, 检测对象是刚凝固的焊缝。通过数据库的建立, 可以很好地得到各个坐标位置的金属结构焊缝宽度数据, 能很好地判断焊缝的成形情况, 在单位长度焊缝上熔化相同焊丝时, 若焊缝宽度变化较大时, 还可以判断焊缝高度的均匀性。该系统的运用, 可以比较成功地对TIG焊快速制造堆焊质量进行检测, 从而指导TIG焊快速制造以及其他焊接应用的研究。

#### 参考文献:

- [1] Terakubo M, Oh J, Kirihara S, et al. Freeform fabrication of Ti-Ni and Ti-Fe intermetallic alloys by 3D Micro Welding[J]. Intermetallics, 2007, 12(2): 133-138.
- [2] 李振岗, 朱 彤, 张建勋. 基于机器人CO<sub>2</sub>气体保护焊的直接堆焊成形研究[J]. 焊接技术, 2007, 36(2): 17-19.
- [3] 徐健宁, 罗 勇, 张 华, 等. TIG熔焊快速成型中焊缝几何尺寸的预测[J]. 材料科学与工艺, 2006, 14(S): 166-169.
- [4] 张光云, 张 华, 胡璐华, 等. 熔焊快速成型中焊缝下塌问题的研究[J]. 热加工工艺, 2007, 36(19): 26-29.
- [5] Hu J, Guo H and Tsai H L. Weld pool dynamics and the formation of ripples in 3D gas metal arc welding[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2008, 51(5): 2 537-2 552.

作者简介: 罗 勇 (1981—), 男, 讲师, 主要研究领域为神经网络预测及图像处理。