

无辅助光源图像法 TIG 焊焊缝跟踪传感系统

何景山 杨春利 林三宝 王其隆

(哈尔滨工业大学现代焊接技术国家重点实验室 哈尔滨 150001)

摘 要 焊接过程中焊炬自动跟踪焊缝对保证焊接质量, 提高自动化程度有着极其重要的实际意义。焊缝自动跟踪技术的关键是焊缝位置的传感方法, 本文在深入研究 TIG 焊电弧发光行为的基础上, 结合实际的焊接工况, 建立了一套利用电弧弧光检测焊缝位置的图像传感系统。该系统在硬件方面解决了图像采集与焊接电流的同步以及图像品质的提高等问题, 在计算机软件方面解决了阈值与图像品质相匹配以及焊缝位置的提取等问题。生产实际应用结果表明, 该系统在检测精度、处理速度、稳定性、可靠性及实际工况的适应性等方面完全满足高质量焊缝对焊接过程自动对中的要求。

关键词: 焊缝跟踪 图像处理 弧光传感 TIG 焊

中图分类号: TG402



何景山

0 序 言

基于计算机图像采集和图像处理技术的视觉图像法在各领域的应用日趋广泛, 图像传感器的微型化和计算机的高速化为在焊接过程中采用图像法进行各项参数(尤其是焊缝位置)的实时控制提供了可能。目前国内外有关采用图像法进行焊缝跟踪的成果报道比较多, 选择的传感方案也不尽一致, 其根本出发点在于克服作为焊接主要热源的焊接电弧在光、电、磁、热等方面对检测和跟踪效果的影响。根据焊缝图像的获取方法来分有外加辅助光源^[1, 2](主动式)和无辅助光源^[3, 4](被动式)两大类, 这些方案在系统构成的复杂程度、实时性、实际工艺的接纳程度、信号稳定性和可靠性等方面的优缺点是显而易见。因此在近弧区、无辅助光源条件下, 克服电弧干扰及保证信号的稳定、可靠成为图像法传感器能否在明弧焊接工况下成功应用的关键。

本文作者根据某产品 TIG 焊实际焊接工艺的要求, 研制了一套在近弧区利用 TIG 焊弧光作为照明光源的焊缝跟踪传感器, 该传感器不单在信号的稳定性、可靠性和小型化等方面具有一系列优点, 而且还适应“预热焊接”情况下的冷却要求。

1 图像传感器系统的组成

本系统的图像采集与处理以及计算分析系统如图 1 所示, 该系统由 80386 工业控制计算机、摄像机

及相应附属装置、M200 黑白图卡、显示器组成。在基值电流期间, 用摄像机获取焊接熔池前沿的焊缝图像, 通过 M200 图像卡把摄像机与计算机联系起来, 对采集到的焊缝图像经过必要处理之后, 设计一种数学模型, 提取出焊缝位置参数, 从而实现焊缝位置的实时检测, 通过调节焊炬伺服机构来实现焊缝对中控制。

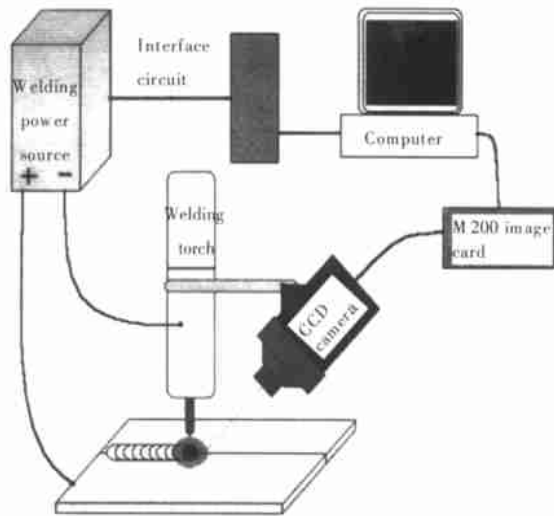


图 1 图像采集系统框图

Fig. 1 Schematic of image acquisition system

2 焊缝图像获取原理

焊缝图像的采集位置为熔池前沿, 图 1 中的摄像机镜头前面装有一块衰减滤光片, 选择不同的衰减滤光片, 可得到不同对比度的焊缝图像。由结构

光法的原理可知:当光源发出的光面与被摄物体相交时,光面与摄像机的位置光子为已知,则在摄像机上主动光源形成的像为高亮度的像,像面上每一亮点对应于主动光面的每一点,其位置光子可以求出。由于本系统采用 TIG 电弧作为主动光源,因此电弧发光行为直接影响图像的品质,通过系统的试验研究发现 TIG 焊电弧及近弧区图像有如下特点。

当焊接电流较小(小于 20 A)时,如图 2 所示,作为电弧发光主体的钨极端部烁亮区呈球状,弧光呈球面散开,工件表面在一定半径范围内被增亮,增亮区与非增亮区之间有清晰明显的边界线,这时得到的近弧区图像增亮区域为高灰度值,非增亮区域近似黑区;平板堆焊时亮区的边界线近似规则的圆,无错边对焊时该边界线只在焊缝附近有形状上的变化,有错边时该边界线在焊缝区域的形状变化更大。

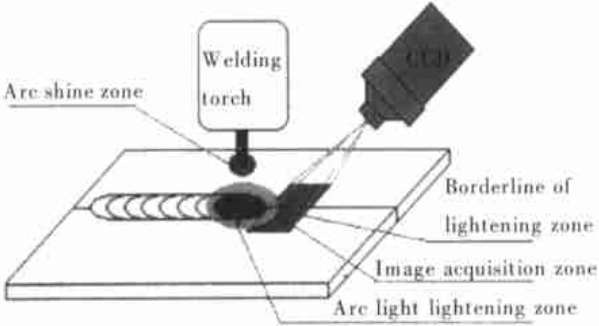


图 2 基值电流较低时的成像示意图
Fig. 2 Schemtic of image with low base current

当焊接电流增大,如图 3 所示,钨极端部烁亮区扩张,逐渐由球状向柱状过渡,工件表面的增亮范围扩大;在这变化过程中,焊缝图像中被增亮的区域范围逐渐增加,最初还能保持一定的亮区轮廓,随着焊接电流增加,弧光增强,焊缝图像灰度提高,焊缝图像就逐渐湮没到背景中,大量有用信息被丢失。在电流相同时,如果减滤光片的衰减率过小时,也会造成焊缝信息的丢失,引起检测结果与实际情况不符。

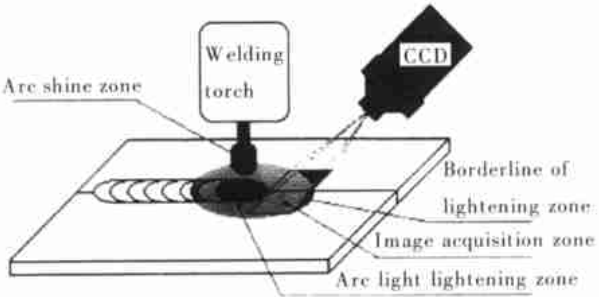


图 3 基值电流较高时的成像示意图
Fig. 3 Schematic of image with high base current

根据 TIG 焊电弧的上述特点,本文作者在系统

中将焊接电源与图像采集同步进行控制,使图像采集都是在脉冲基值期间内完成,同时选择合适的衰减滤光片等措施,从而保证稳定、可靠地获取高品质的近弧区图像。

3 焊缝位置信息的提取

焊缝位置信息的提取过程分以下几个部分:实时图像灰度矩阵的获取;阈值的确定;亮区边界线的提取;畸变位置坐标的确定;程序执行速度的优化。从处理速度和通用性角度考虑,本系统的软件采用 Microsoft C 6.0 版本的 C 语言编制,下面结合具体过程来阐述软件的构成。

3.1 实时图像灰度矩阵的获取

该过程包括图像采集、图像冻结在帧存贮器、帧存贮器向计算机内存传递数据三个主要步骤。由于目前的图像处理卡都是专业厂商产销的,图像采集、冻结及帧存与内存间的数据交换是受图像处理卡硬件结构的限制,因此本文作者采用厂家提供的驱动程序来完成这三项操作。

3.2 阈值的确定

在实际焊接工况下,一方面由于近弧区的图像是在焊接电流较小的情况下获得的,电弧的烁亮区会出现飘移,这与阴极斑点飘摆相类似,这样一来导致近弧区的图像中亮区的灰度值时高时低;另一方面由于工件的表面状态、氧化程度和污染程度等因素都影响反光能力,这也会引起上述亮区灰度值在焊接过程中发生变化。本系统的根本出发点是提取亮区和暗区的边界线,故此作为亮暗区判别标准的阈值在整个图像处理过程中起的作用可想而知。依据本系统中亮区的中心在图像中的空间位置基本固定的特点,作者以每幅图像固定位置的灰度值经适当处理后作为阈值,从而保证阈值与图像品质相匹配。过程如图 4 所示,具体方法是,按图像列方式取固定位置的一列灰度数组,数组的单元数为 70,而且该列所处的位置必须在增亮区(最好是在增亮区中心区域);根据图像的分布特点可知,沿列指针增加方向,灰度数组的灰度值总体上是由高向低过渡,但在增亮区与非增亮区的边界附近,灰度值衰减得剧烈;作者利用分组(每组为列连续的 7 个单元)组合判别的方法,首先确定灰度值剧烈衰减的位置,然后以该位置亮区的灰度值经必要的修正做为整幅图像的判断阈值。试验结果表明这种方法较目前已有的阈值提取方法在稳定性、实时性方面有明显的优越性。

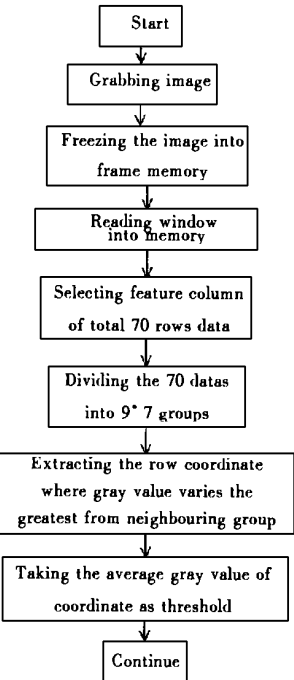


图 4 阈值的提取过程框图

Fig.4 Flow chart of obtaining the threshold

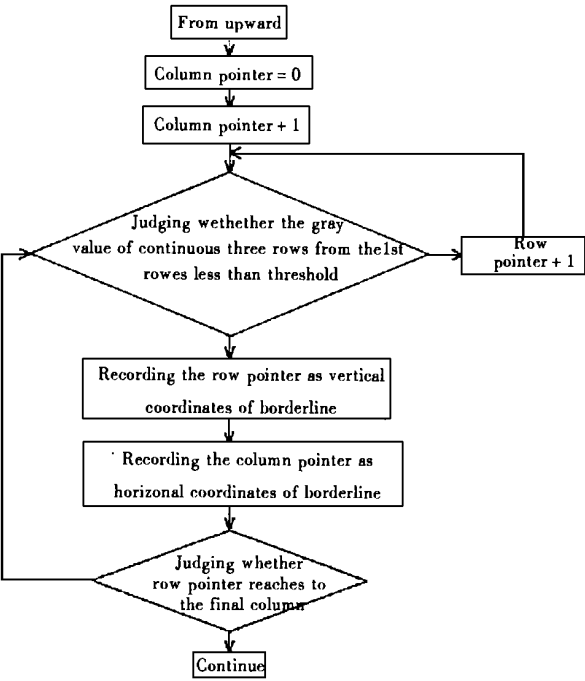


图 5 亮区边界线提取过程框图

Fig.5 Flow chart of obtaining borderline of bright zone

3.3 亮区边界线的提取

本系统采用以 3.2 中确定的阈值为标准，为获得的灰度矩阵进行逐列提取亮区和暗区灰度值突变处的纵坐标，从而得到一个以一维数组形式表示的亮区边界线，该数组单元的个数与图像的列数对应，每个数组单元的值表示对应列中亮区和暗区交界处对应的行数。亮区边界线的提取过程如图 5 所示，典型图像的亮区边界线提取结果如图 6、图 7 所示。

3.4 畸变位置坐标的确定

亮区边界线畸变位置是通过 3.3 中得到的一维数组中各个单元进行一阶微分或二阶微分乃至三阶微分，微分最小值(或最大值)的横坐标位置就是亮区边界线畸变点，这一位置也是焊缝在图像中所处的横坐标。试验结果表明：(1)微分的阶数要根据亮区边界线分布特点而定，如果亮区边界线分布规整平直，则选择低阶微分；如果亮区边界线分布曲率较大，则选择高阶微分。(2)微分的步长要根据图像的分辨率确定。图 7 是原始图像为图 6 时的亮区边界线及其一、二阶导数的分布特征。

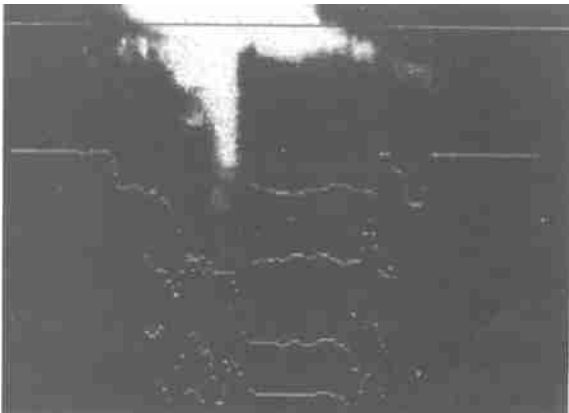


图 6 图像传感系统获得的原始图像及检测结果的实际显示

Fig.6 Original image and detecting result with image sensing system

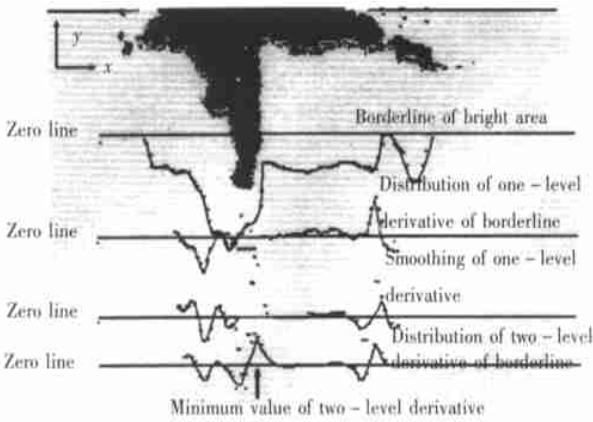


图 7 亮区边界线及其导数的分布示意图

Fig.7 Distribution drawing of bright zone borderline and its derivative

3.5 执行速度的优化

程序执行速度的优化是焊接过程实时控制要求的，尤其像处理这种大数据量操作，程序的执行速度至关重要，这一方面要求计算机和图像卡的执行速

度要高;另一方面程序的编制也要以速度优先为原则,为此本文作者主要通过以下几个途径来提高运行速度,以达到实时控制的目的。

- ①在程序编制过程中选择速度优化;
- ②尽可能少地读写图像卡的帧存贮器;
- ③充分利用 3.1 节中的图像采集和冻结之间以及图像冻结与读帧贮器之间的两个时间间隙;
- ④尽量采用执行速度高的语句和数据组织结构。

3.6 系统的性能指标

该系统的静态检测精度为 0.07 mm, 动态跟踪精度 0.2 mm, 处理周期 300 ms, 检测范围 13 mm。

4 结 论

由于该系统采用了图像采集与焊接规范同步控制、阈值与获得的图像协调处理、传感器可靠密封、冷却等一系列有效措施,使得本系统即使在 300℃ 的高温环境中也稳定、可靠工作,同时还能自动排除

错边、装配间隙、工件表面状态、电弧斑点漂移等因素对检测结果的干扰。

参 考 文 献

1 Nonuk J. Justifying laser seam tracking for robotic arc welding. Fabricator, 1995, 25(1): 42~43

2 Ferrier I. Zero-gap seam tracking with laser vision. Can Weld fabricator, 1989, 80(1): 9~12

3 Groom K N. Seam tracking gas tungsten arc welding using measured surface temperature gradients. Modeling and Control of Casting and Welding Processes, 1988, (4): 721~730

4 Chen X Q. A fast vision system of control of narrow gap TIG welding. International Conference on Advances in Joining and Cutting Processes, 1990; 480~488

作者简介 何景山,男,1963年7月出生。哈尔滨工业大学学士,1985年毕业,留校工作,助理研究员,现攻读博士学位。研究方向:电弧焊方法及过程控制,高频调制低频方波交流TIG焊设备及工艺,图像法焊缝跟踪及熔透控制技术,弧焊自动化工艺及装备。曾获国防科工委科技进步二等奖1项,发表及翻译论文10余篇。

最新焊接标准征订启事

《中国机械工业标准汇编 焊接与切割卷》(1999年版)由全国焊接标准化技术委员会与中国标准出版社共同组织出版。该汇编收集了1998年底以前颁布的各类焊接标准136项。其中,基础综合类标准包括了1998年底以前颁布的各类焊接质量要求系列标准及焊接工艺评定、焊工考核、焊接术语、焊接符号等方面的标准;焊接材料类标准包括焊条、焊丝、焊剂、钎料、钎剂、合金粉末产品标准及与焊接材料有关的分析、检验标准;焊缝的试验及检验类标准包括各种焊接性试验方法标准、焊接接头及焊缝的破坏性试验和无损检验标准;热切割类标准包括切割工艺、安全及各类切割机具产品标准。

该标准汇编系权威归口单位与权威出版单位的合作产物,其特点突出体现在:权威性高;收录的标准内容新;标准门类齐全;实用方便;价格低廉。

本汇编由上、下两册组成,整套定价280元(含邮寄费)。需要者可通过邮局或银行汇款,汇款时请注明“标准汇编款”。本汇编采用现货订购方式,款到即寄书和发票。

开 户 行: 哈尔滨市工商银行和兴支行 帐号: 421089012-94

户 名: 机械工业部哈尔滨焊接研究所

联系地址: 哈尔滨市和兴路111号 邮编: 150080

全国焊接标准化技术委员会秘书处 刘雅芳

电话: 0451-6326763

传真: 0451-6325871

E-mail: hriw@ems.dragon.net.cn