

铜包铝线材 TIG 焊熔池宽度的最佳检测与控制

付虹, 白羽, 李云峰, 王玉华

(长春工业大学 电气与电子工程学院, 吉林 长春 130012)

摘要:文章针对铜包铝线材 TIG 焊焊接速度快、所采用的铜板很薄、熔池宽度很小的特点,设计了一种采用视觉传感器在近弧区对熔池进行取像的熔池宽度实时检测与控制系统。采用 CCD 视觉传感器在焊接方向钨极的后方采集焊接熔池图像;利用视频处理电路对视频信号进行处理,获得熔池边缘信息;依此信息采用改进的模糊控制器对弧焊电源的电流进行快速控制,从而实现对熔池宽度的控制;实验结果表明,该系统的熔宽偏差、检测误差能够很好地满足生产要求。

关键词:视觉传感; 熔池宽度; 检测; 模糊控制

中图分类号:TP273.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-5060(2009)09-1354-05

Detection and control of pool width in TIG welding of copper clad aluminum wire

FU Hong, BAI Yu, LI Yun-feng, WANG Yu-hua

(College of Electric and Electronic Engineering, Changchun University of Technology, Changchun 130012, China)

Abstract: Considering the characteristics of high-speed welding, thin copper plate and small pool width in TIG welding of copper clad aluminum wire, a real-time pool width detection and control system is designed. The system can get images of the welding pool at the near-arc zone with vision sensors. The CCD vision sensors are used to collect images of the welding pool in the direction of welding behind the tungsten electrode and the video signals are processed with the video processor so as to get the edge information of the welding pool. With the obtained information, the fuzzy controller is improved to do rapid control of arc welding power current, thus the pool width control is realized. The experimental results show that the pool width deviation and detection error can well meet the production requirements.

Key words: vision sensing; pool width; detection; fuzzy control

目前,焊缝熔透和成形及控制是焊接自动化技术的一大难题,成功应用于生产实际的例子很少^[1,2]。实现熔透和成形自动控制的关键是方便可靠地提取熔透和成形信号。研究表明,正面熔池的几何参数(如熔宽、熔池面积等)与焊缝熔透和成形有良好的对应关系^[3]。检测正面熔池的几何参数对控制焊接过程具有非常重要的意义。针对铜包铝线材 TIG 焊焊接速度快,所采用的铜板很薄、熔池宽度很小仅约为 1 mm,在焊接过程中无法检测焊缝背宽,检测熔池面积等也十分困难

的情况,本文设计了一种采用视觉传感器在近弧区对熔池进行取像的熔池宽度实时检测与控制系统,通过检测到的熔宽信息,对弧焊电源的电流进行快速控制,来实现对熔透的间接检测及控制。

1 视觉传感与熔宽实时检测与控制系统

视觉传感熔宽实时检测与控制系统组成框图如图 1 所示。

以弧光为光源,即采用被动光源方式,通过对弧光的减光和滤光,采用 CCD 视觉传感器(与焊

收稿日期:2009-05-25

作者简介:付虹(1963—),女,辽宁台安人,长春工业大学教授。

枪夹角 50°) 在焊接方向钨极的后方采集焊接熔池图像,利用视频处理电路对视频信号进行处理,获得了熔池边缘信息,采用单片机进行熔池宽度计算处理,依此信息对弧焊电源的电流进行快速控制,从而实现对熔池宽度的控制。

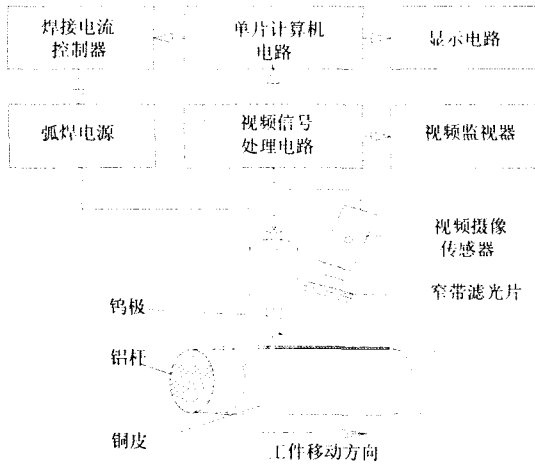


图 1 系统组成框图

2 熔池视频信号的采集与处理

本文采用了独特的焊接熔池图像信号处理方法,旨在对铜包铝 TIG 焊熔池的检测及控制。

2.1 熔池图像的采集与分析

在铜包铝线材 TIG 焊接过程中,焊接电流为连续电流,通常大于 200 A,无法利用维弧电流期间取像,采用中性减光加窄带滤光处理后的熔池图像中,可以较清晰地看到钨极端部和熔池,而且熔池边缘十分清晰。

用示波器测得的熔池视频信号波形如图 2 所示。

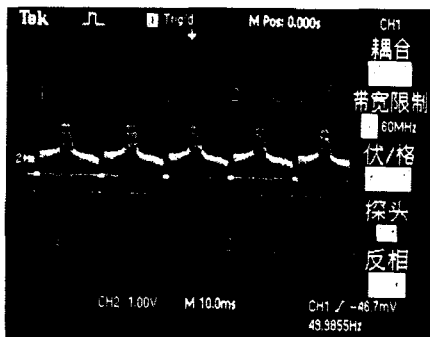


图 2 视频信号波形

在视频信号中,对应熔池的视频信号,其特征为电压幅值较高(1 线所示),波形较规则,而且在

熔池边缘处信号电平发生了突变,其特征非常明显;铜板图像的视频信号(2 线所示),其特征是电压幅值较低;帧同步信号(3 线所示),其周期为 20 ms。波形图中下面的 2 条亮直线为行同步信号,周期为 6.4 μ s。

由图 2 可以看出在熔池对应的高电平信号中也有很多行同步信号,其电平为低电平,因此,这样的视频信号不能直接用于熔池边缘检测,需作进一步处理。

2.2 熔池视频信号的放大及整形

采用自行设计的电路对视频信号进行放大、整形、行同步填补等处理^[4,5],获得信号波形如图 3 所示。它由熔池视频信号包络线(1 线所示)、铜板视频信号包络线(2 线所示)、帧同步信号(3 线所示)。

由图 3 可以看出,视频信号经过处理后完全消除了杂波和行同步信号的影响。其信号特征为:熔池视频信号幅值最高,其峰值对应熔池中心,与铜板视频信号幅值形成较大的差别,根据这一特征可进行熔池边缘识别。

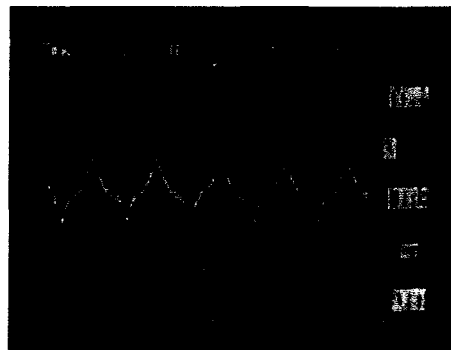


图 3 处理后的视频信号波形

2.3 熔池视频边缘信号的获取

经过处理后的熔池视频信号和对应熔池方波信号的时序关系如图 4 所示。

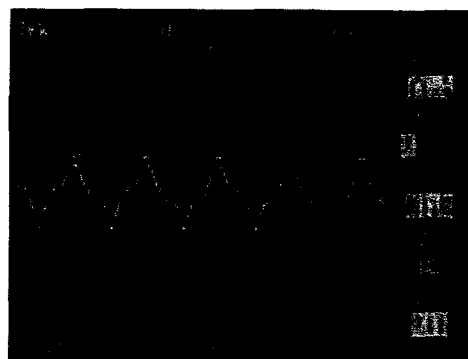


图 4 2 种信号的时序关系

图中曲线 1 为被放大、整形、行同步填补等处理的熔池视频信号。采用模拟电路对放大及整形了的熔池视频信号进行二值化处理,处理后获得的方波信号如图中曲线 2 所示,图中方波信号的上升、下降沿对应熔池的 2 条边缘。

2.4 熔池宽度的计算

铜包铝线材 TIG 焊接生产时工件运动很平稳,摄像传感器和工件之间的距离保持不变,在调好摄像传感器焦距后做系统的标定,实际焊接熔池宽度为 1 mm,取像系统放大后反映在方波信号脉宽为 3 ms,那么熔宽脉冲信号 0.3 ms 的变化就对应熔池宽度 0.1 mm 的变化,本文采用单片机进行精度为 0.3 ms 的脉宽测量。

3 焊接电流控制方法

铜包铝线缆自动焊接生产中,采用恒电流进行焊接很难保证焊接质量。熔池特征信息经过单片机程序处理后获得熔池宽度值,经过运算处理对焊接电源的电流进行快速增量控制,即通过调节焊接电流对熔池宽度进行控制。

目前,逆变电源的器件、结构以及性能多种多样,其内部结构复杂;且焊接过程是一个高度非线性、强耦合、时变的系统,数学模型难以建立,常规的控制算法很难保证控制精度^[6-8]。

模糊控制不需建立系统精确的数学模型,因此,本文将改进的模糊控制算法应用到焊接电流控制系统中。

3.1 改进的模糊控制算法

对于普通模糊控制器来说,其实质相当于比例微分控制,缺少积分控制,其控制精度受到一定影响。当然,改变控制规则可以取得不同的控制效果,但由于控制规则的改变,要求重新计算模糊关系,并基于新的模糊关系再进行模糊推理,从而占用很长机时,不满足对焊接电流进行快速增量控制的要求,影响控制结果。本文把一种通过改变量化曲线形状来实现等效调整控制规则的模糊控制方法,应用在本控制系统的设计中,从而使系统具有较高的控制精度。

在实际的控制系统中,误差及其变化率一般不是论域中元素,需进行论域变换。设语言变量 Y 的基本论域为 $[-e_m, e_m]$,所取的模糊集合为 $X = [-n, -n+1, \dots, 0, \dots, n-1, n]$ 其中 e 为代表语言变量大小的精确量, n 为将 $0 \sim e$ 范围内连续变化的语言变量离散化(量化)后分成的档数,它构成论域 X 的元素。

量化曲线 $Y = F(X)$ 就是指语言变量 Y 在其基本论域 $[-e_m, e_m]$ 内的精确量 $Y_i(e)$ 和其论域元素 $X_j(n)$ 间的函数关系曲线。

在普通模糊控制中,通常采用线性量化方法,通过量化因子进行论域变换。量化因子定义为:

$$K_e = n/e_m \quad (1)$$

如图 5a 所示,一旦量化因子选定之后,语言变量的任何值 $Y_i(e)$ 总可以量化为论域 X 上的某一个元素。线性量化的特点是简单明了,在整个基本论域内量化等级相同。如果设语言变量为控制系统的误差,则线性量化不能体现系统在大误差和小误差时,应采取不同的控制规则。

本文中焊接电流控制系统的模糊控制器采用了非线性量化方法,如图 5b 所示。在靠近基本论域边界 $\pm e_m$ 处 ΔY 值较大,反之在靠近基本论域中零元素处 ΔY 值较小。

同样,取语言变量为控制系统误差,则非线性量化模糊控制器在误差较大时对被控制过程进行粗调,而在误差较小时进行细调,体现了操作者手动控制的思维特点,既能防止出现过调,又能保证要求的控制精度。

改变量化曲线形状之所以能改变模糊控制器的控制精度,其原因在于改变量化曲线形状等同于改变模糊控制器的控制规则,在基本论域相同,基本论域的量化等级相同时,采用不同的量化方法,则改变了基本论域内同一个精确值对应的论域元素,从而也改变了论域元素对模糊子集的隶属度和隶属关系。

根据模糊推理:

$$U = (A \times B)R \quad (2)$$

式中, A, B 为输入语言变量论域上的模糊子集; U 为输出语言变量论域上的模糊子集; R 为模糊关系矩阵。在模糊关系矩阵 R 不变的情况下,改变模糊控制器输入语言变量论域上的模糊子集,则输出模糊子集 U 也将改变。

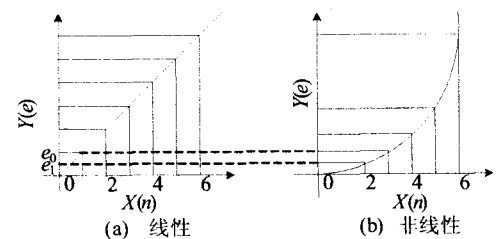


图 5 量化图

综上,在控制规则不变(模糊关系矩阵 R 不

变)、模糊推理方法不变以及查询表不变的情况下,采用不同的量化方式,对于模糊控制器来说,输入语言变量的同一个精确量将对应不同的输出语言变量,进而也对应不同的控制作用。这说明改变量化曲线形状实质上等效于模糊控制规则的自调整。

这种改进方法对提高系统的控制精度、改善系统的动态以及稳定性是很有效的。同时,该方法用软件实现起来简单,思路明确,调试方便,可以根据实际情况用计算机进行调整。对提高采用模糊控制器系统的控制质量有一定的意义。

3.2 焊接电流模糊控制器的建立

在本焊接电流控制系统中,焊接电源采用逆变式直流焊接电源,通过调整焊接电源的脉冲波形的脉宽,从而使间隙平均电流发生变化。模糊控制器输入语言变量为间隙平均电流与最佳平均间隙电流偏差 E 及其变化率 EC ,输出语言变量为电流调整信号 U 。 E, EC, U 基本论域分别为 $[-4, +4](A), [-4, +4](A/s)$ 和 $U[-6, +6]$ 。按模糊推理合成规则进行运算,采用最大隶属度法进行模糊判决,推出参数查询表如表 1 所列。

表 1 参数查询表

EC	E												
	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6	6.0	5.3	6.0	5.3	6.0	5.3	6.0	4.0	4.0	1.3	2.0	0.0	0.0
-5	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	4.0	4.0	0.2	1.3	0.0	0.0
-4	6.0	5.3	6.0	5.3	4.0	4.0	4.0	1.3	2.0	-0.3	0.0	-1.7	-2.0
-3	5.3	5.3	5.3	5.3	3.8	3.8	3.8	2.7	1.3	-0.3	-0.3	-0.8	-1.7
-2	6.0	5.3	4.0	3.8	4.0	4.0	2.0	0.0	0.0	-1.7	-2.0	-4.0	-4.0
-1	5.3	5.3	4.0	3.8	4.0	4.0	1.3	0.0	0.0	-3.3	-1.7	-4.0	-4.0
0	4.0	4.0	4.0	3.8	2.0	1.3	0.0	-1.7	-2.0	-4.3	-4.0	-4.0	-4.0
1	4.0	4.0	1.3	3.8	0.0	0.0	-1.7	-4.0	-4.0	-4.3	-4.0	-5.5	-5.5
2	4.0	4.0	2.0	2.7	0.0	0.0	-2.0	-4.0	-4.0	-4.3	-4.0	-5.5	-6.0
3	1.3	0.2	-0.3	-0.3	-1.7	-3.0	-4.3	-4.3	-4.3	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5
4	2.0	1.3	0.0	-0.3	-2.0	-1.7	-4.0	-4.0	-4.0	-5.5	-6.0	-5.5	-6.0
5	0.0	0.0	-1.7	-0.8	-0.8	-4.0	-4.0	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5
6	0.0	0.0	-2.0	-1.7	-4.0	-4.0	-6.0	-5.5	-6.0	-5.5	-6.0	-5.5	-6.0

将表 1 作为知识库存于单片机中,在系统进行工作时,根据采集的不同偏差和偏差变化率,可在查询表中找到相对应的输出量。然后控制量乘以比例因子 K_0 ,再经过模数转换,作为控制焊接电源电流的模拟量输出。

4 试 验

由于铜包铝线材 TIG 焊接速度很快,熔宽控制对电流调整的响应速度要求很高,而且实际生产铜板厚度变化不大,电流调整量不能很大。因此本试验根据电流和熔宽的曲线在单片机程序中做表,采用模糊查表法快速调整焊接电流,即只对焊接电流作增量调整。焊接开始时熔宽控制系统 D/A 输出 +2.5 V 电压加于弧焊电源焊接电流调整电位器上,如图 5 所示。然后将焊接电流通过人工调整为合适的焊接电流。在实现自动熔宽控制后,由单片机根据检测到的熔宽,计算、控制焊接电流在下限和上限电流之间变化。

经试验得到熔宽变化、D/A 输出电压变化、焊接电流的增量之间的关系如表 2 所列。

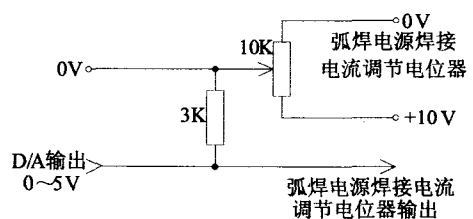


图 6 焊接电流调整电路图

表 2 熔宽、D/A 输出电压与焊接电流之间的关系

熔宽增量/mm	D/A 输出电压增量/V	焊接电流增量/A
0.2	0.25	-10
0.1	0.125	-5
0.0	0.0	0
-0.1	-0.125	+5
-0.2	-0.25	+10

通过对视觉传感铜包铝线材 TIG 焊缝熔宽自动控制系统检测精度的实验测试,系统熔宽检测误差为 $-0.13 \sim 0.14$ mm,满足了生产要求。

5 结 论

- (1) 在铜包铝线材 TIG 焊接生产中,以弧光 (下转第 1390 页)

污染状态。Pb 处于无污染程度虽然较高,但在无污染~中污染程度中的可信度也较高(29.5%),甚至部分处于中污染(7%)。于是该地区重金属污染程度由重到轻的排序为:Cu>Pb>Cr>Zn。这与甘信华^[7]对该地区的研究结果相吻合。

4 结 论

(1) 将三角模糊数理论应用到地累积指数的计算中,其结果为带有隶属度的区间值,可以较好地克服由观测值(或实测值)的不完整性、不准确性以及随机不确定性带来的偏差,从而更为客观地反应出沉积物中重金属污染的真实状态,比常规的地累积指数法更具合理性、科学性。

(2) 应用地累积指数三角模糊数学模型对巢湖烔炀河口沉积物重金属进行评价,得到 Cu、Zn、Pb 和 Cr 的污染程度由重到轻的顺序为:Cu>Pb>Cr>Zn。其中,Cu 和 Pb 污染较为明显;Zn 和 Cr 几乎无污染。

[参 考 文 献]

[1] 李如忠,洪天求,金菊良. 河流水质模糊评价模型研究[J].

武汉理工大学学报,2007,29(2):43-46.

- [2] Ronald E G,Robert E Y. Analysis of the error in the standard approximation used for multiplication of triangular and trapezoidal fuzzy numbers and the development of a new approximation[J]. Fuzzy Sets and Systems,1997, 97(1): 1-13.
- [3] Müller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River[J]. Geojournal,1969,2(3):108-118.
- [4] 盛 骤,谢式千,潘承毅. 概率论与数理统计[M]. 第 3 版. 杭州:浙江大学出版社,2001:150-198.
- [5] 李如忠,洪天求,贾志海,等. 基于盲数的水体沉积物潜在生态风险评价方法[J]. 生态环境,2007,16(5): 1346-1352.
- [6] Fürsner U,Ahlf W,Calmano W,et al. Sediment criteria development [M]//Heling D,Rothe P,Fürsner U. Sediments and Environment Geochemistry. Berlin: Springer-Verlag, 1990:311-338.
- [7] 赵一阳,鄯明才. 中国浅海沉积物地球化学[M]. 北京:科学出版社,1994:50-200.
- [8] 甘信华. 巢湖烔炀河口沉积物污染特征及其生态影响评价[D]. 合肥:合肥工业大学资源与环境工程学院,2008.

(责任编辑 朱华新)

[参 考 文 献]

(上接第 1357 页)

为主动光源,经过对弧光的中性减光和窄带滤光处理,采用视频摄像传感器可以获得清晰的熔池图像;采用模拟电路对视频信号进行放大、整形、行同步填补及动态平均值二值化等处理,极大地降低了图像处理时间,并准确获得了熔池宽度方波信号,实现了对熔池宽度的实时检测。

(2) 针对铜包铝线材 TIG 焊接速度很快、熔宽控制对电流调整的响应速度要求很高、而且实际生产铜板厚度变化不大及电流调整量不能很大等因素,本文根据电流和熔宽的曲线在单片机程序中做表,采用模糊控制的模糊查表法快速调整焊接电流,即只对焊接电流作增量调整。通过对视觉传感铜包铝线材 TIG 焊缝熔宽自动控制系统检测精度的实验测试,系统熔宽检测误差为-0.13~0.14 mm,达到了最佳指标,能够很好地满足生产要求。

[参 考 文 献]

[1] 黄石生,谭敬腾,宋永伦. TIG 焊熔宽的自整定 PID 闭环

控制系统[J]. 焊接学报,1994, 15(2):122-129.

- [2] Kovacevic R,Zhang Y M, L I L. Monitoring of weld joint penetration based on weld pool geometrical appearance [J]. Welding Journal,1996, 75(10):317-329.
- [3] 冯天涛,高进强,张红燕. 对接 TIG 焊熔池正面几何形状参数的检测[J]. 山东机械,2004,(1):18-20.
- [4] 薛家祥,张丽玲,刘 晓. TIG 焊视觉图像的二值形态学分析[J]. 焊接学报,2005, 26(6):25-27.
- [5] 郑相锋,王 庆,牛晓光. 灰度形态学提取焊接熔池图像边缘技术[J]. 焊接学报,2007,28(1):105-107.
- [6] 黄石生,贺剑峰,宋永伦. 钨极氩弧焊焊缝熔宽模糊控制系统的设计[J]. 焊接学报,1996,17(2):159-164.
- [7] 陈善本,吴 林,王其隆,等. 脉冲 TIG 焊熔宽动态过程模糊推理——神经网络控制方法[J]. 焊接学报,1997,18(3): 94-98.
- [8] 高进强,武传松,刘新峰. TIG 焊背面熔宽神经网络模糊控制[J]. 焊接学报,2001,22(5):5-8.

(责任编辑 朱华新)