

图 2 视觉传感自动跟踪系统组成

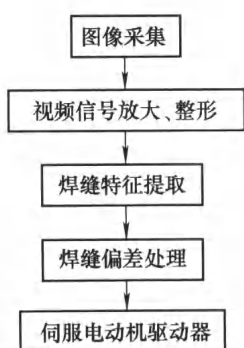


图 3 视频信号处理流程图

### 2.1 图像采集

在铜包铝线缆 TIG 焊接过程中，焊接电流为连续电流，通常大于 200 A，弧光的影响对电弧及熔池取像十分困难。另外，考虑焊接速度很快、自动跟踪系统工作的延时性，本系统将视觉传感器安放于焊接前方离钨极 20 mm 处，以弧光作为光源，在近弧区摄取铜皮成形对口缝(间隙为 0.2 mm)图像，如图 4 所示。图 4 中白色条状部分为铜皮对口缝放大图像，由于铝线材表面对弧光的反射作用很强，因此图像呈白色；其他部分为包覆铜皮图像，铜皮对弧光的反射作用较弱，图像特征为颜色较暗。图像中铜皮对口缝边缘较清楚，根据这一图像特征可进一步进行图像信号分析及处理。

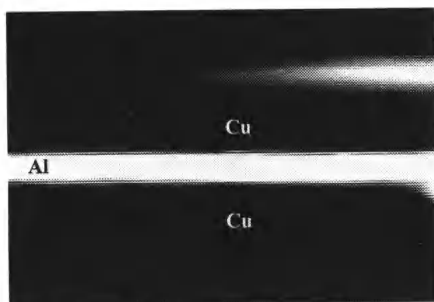


图 4 铜皮对口缝图像

### 2.2 焊缝视频信号分析

用示波器测得的铜皮对口缝视频信号波形如

图 5 所示，在视频信号中，有对应铜皮对口缝部分的视频信号，其特征为电压幅值较高，波形较规则(图 5 中 1 所指)；铜皮图像的视频信号(图 5 中 2 所指)，其特征是电压幅值较低，但铜皮反光处的信号幅值较高；帧同步信号(图 5 中 3 所指)，帧同步信号周期为 20 ms；波形图中下面的两条白亮直线为密集的行同步信号。分析结果表明，铜皮对口缝的视频信号电平比铜皮视频信号电平高，而且在铜皮对口缝边界处变化较明显，但因为有很多行同步信号的影响，这种电信号不能直接用于焊缝识别和偏差计算，需对其做进一步处理。

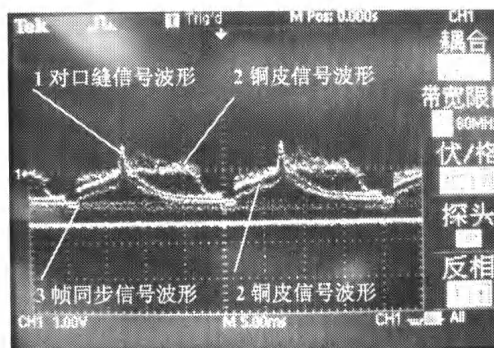


图 5 视频信号波形图

### 2.3 视频信号的放大、整形

对视频信号进行放大、整形、行同步填补等处理后，获得的信号波形如图 6 所示，它由铜皮对口缝视频信号包络线(图 6 中 1 所指)、铜皮视频信号包络线(图 6 中 2 所指)、帧同步信号(图 6 中 3 所指)等几部分组成。从图 6 中可以看出，视频信号经处理后完全消除了杂波和行同步信号的影响，其信号特征为铜皮对口缝视频信号幅值最高，其峰值对应对口缝中心，与铜皮视频信号幅值有较大的差别，铜皮对口缝边界处仍有较明显的变化，根据这一信号特征可进行焊缝识别。

### 2.4 焊缝特征提取

获得如图 6 所示的模拟信号不能直接用单片机

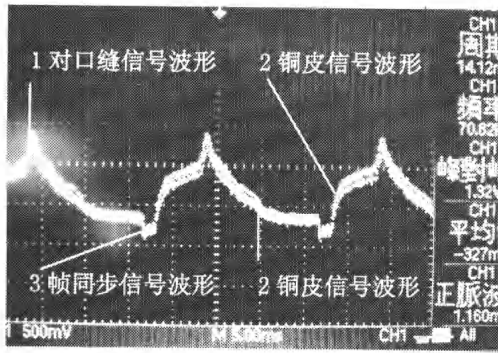


图6 处理后的视频信号波形图

进行焊缝识别，另外，实际焊接时由于焊接弧光、环境光、铜皮表面状态等因素的影响，视频信号的电压幅值经常会发生变化，因此本系统采用能完全反映铜皮表面反射光状态的动态平均值对视频信号进行二值化处理，如图7所示。图7中曲线1是被放大、整形、行同步填补等处理后的视频信号；曲线2是能完全反映铜皮表面反射光状态的动态平均值。二值化处理后获得的方波信号波形图如图8所示。该二值化处理过程采用的是模拟电路，处理时延仅为几纳秒，其快速响应性是采用计算机图像处理方法所无法比拟的。图8中方波信号的上升沿对应帧同步信号的上升沿，下降沿对应铜皮对口缝边缘。

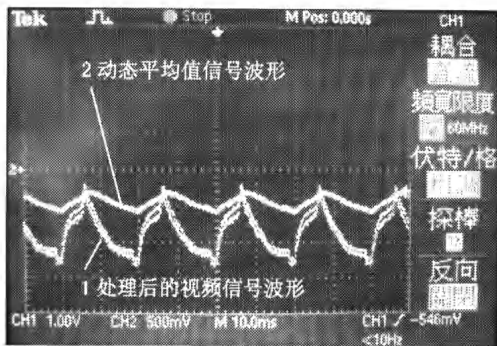


图7 二值化处理波形图

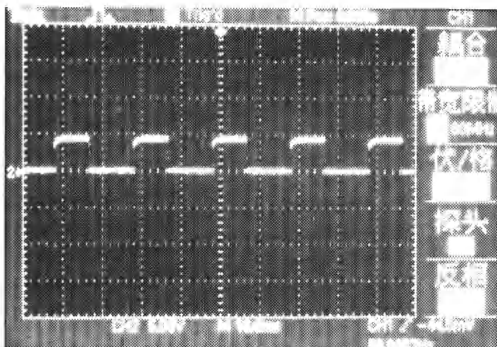


图8 二值化获得的方波波形图

二值化处理获得的方波信号与经过处理后的视频信号的时序关系如图9所示。图9中曲线1为被放大、整形、行同步填补等处理的视频信号；曲线2为视频信号经二值化处理后得到方波信号。从

图9中可以看出，曲线1和曲线2的对应时序关系，即曲线2上升沿对应帧同步上升沿，下降沿对应于铜皮对口缝边缘。

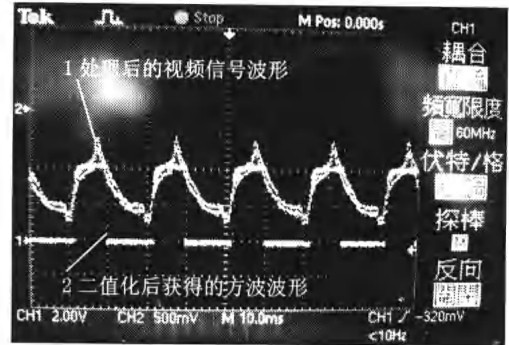


图9 两种波形的时序关系图

### 2.5 焊缝偏差处理

焊接时视频摄像传感器位于焊接电弧的前方，超前检测铜皮对口缝，通过传感器调整手动滑移台及调节支架，使对口缝的影像位于视频监视器帧中心。视频摄像传感器输出的图像信号帧周期为 20 ms，以帧中心(从帧同步上升沿后 10 ms 处)为基准，如果焊接时铜板对口缝相对于钨极发生了偏离，那么铜皮对口缝信号下降沿就会偏离帧中心，即如图9中帧同步的上升沿至对口缝信号下降沿的脉冲宽度将发生变化，根据这种变化可以判断对口缝的偏离方向和计算出偏差的大小。

系统采用 51 系列单片计算机进行焊缝偏差方向判断及偏差大小计算，视频摄像传感器光学系统在垂直于铜皮对口缝方向视野范围为 10 mm，即 10 mm 范围对应传感器帧周期 20 ms，铜皮对口缝位置变化 0.1 mm 对应铜皮对口缝脉冲信号 0.2 ms 的变化，采用单片计算机计算单位 0.2 ms 的脉冲宽度变化是很容易实现的，因此该系统跟踪精度可达到 0.1 mm。

由于视频摄像传感器帧周期为 20 ms，单片机采集两帧图像所用时间不多于 40 ms，程序处理时间和伺服电动机响应时间少于 20 ms，因此该系统响应周期少于 60 ms。

### 2.6 焊缝自动跟踪的实现

单片机将焊缝偏差方向信号和焊缝偏差大小信号分别以高低电平信号方式和脉冲信号方式送入交流伺服电动机驱动器，由交流伺服电动机拖动焊枪进行焊缝实时纠偏。

## 3 结论

(1) 以弧光为主动光源，在铜包铝线缆 TIG 焊接生产中，采用视频摄像传感器检测铜皮对口缝实

现焊缝自动跟踪新方法可行。

(2) 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,并准确获得了对口缝脉冲信号,实现了铜皮对口缝偏差方向的判断及偏差大小的计算。

(3) 视觉传感铜包铝线缆 TIG 焊缝自动跟踪系统响应速度和跟踪精度满足生产使用要求。试验证明,每个系统响应周期工件移动 9.3 mm,在此焊缝长度范围内焊接电极(钨极)与铜皮对口缝跟踪精度小于 0.1 mm。

### 参 考 文 献

- [1] 戴雅康,杨景山,王朔,等. 包覆焊接法生产的铜包铝线的质量和性能[J]. 电线电缆, 1997(5): 25-26.
- [2] 孙德勤,吴春京,谢建新. 铜包铝复合线材制造技术的发展现状与前景[J]. 电线电缆, 2003(3): 3-4.
- [3] 吴云忠,马永庆,刘世永,等. 包覆焊接铜包铝线加工工艺与固相结合机理研究[J]. 焊接, 2006(4): 40-42.
- [4] ZHANG Guangjun, YAN Zhihong, WU Lin. Visual sensing of weld pool in variable polarity TIG welding of aluminum alloy[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2006, 16: 522-526.
- [5] WANG J J, LIN T, CHEN S B. Obtaining weld pool vision information during aluminum alloy TIG welding[J]. Int. J. Adv. Manuf. Technol., 2005, 26: 219-227.
- [6] 高进强,武传松. TIG 焊接熔池形状参数的视觉检测[J]. 金属学报, 2000, 36(12): 1 284-1 288.
- [7] 杜全营,王伟,王建军,等. 铝合金钨极氩弧焊熔池图像处理[J]. 上海交通大学学报, 2005, 39(7): 1 055-1 057.
- [8] 高进强,魏星,李克海. 脉冲 TIG 焊接熔池几何参数的视觉检测[J]. 山东工业大学学报, 1999, 29(6): 567-572.
- [9] BAE K Y, LEET H, AHN K C. An optical sensing system for seam tracking and weld pool control in gas metal arc welding of steel pipe[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002, 120: 458-465.
- [10] 陈念,孙振国,陈强. 基于视觉图像传感的精密脉冲 TIG 焊焊缝跟踪[J]. 焊接学报, 2001, 22(4): 17-20.
- [11] 何景山,杨春利,林三宝,等. 无辅助光源图像法 TIG 焊焊缝跟踪传感系统[J]. 焊接学报, 2000, 21(1): 37-40.
- [12] 张华军,张义顺,李德元,等. 面阵 CCD 摄像机对 TIG 焊焊缝特征的识别[J]. 沈阳工业大学学报, 2004, 26(4): 453-456.

## VISUAL SENSOR FOR AUTOMATIC WELD SEAM TRACKING TO TIG WELDING OF COPPER-CLAD ALUMINUM WIRE

LI Yunfeng<sup>1,2</sup> ZHAO Xihua<sup>1</sup> LI Yongqiang<sup>1</sup>  
YI Nan<sup>3</sup>

(1. College of Material Science and Engineering,  
Jilin University, Changchun 130021;  
2. College of Material Science and Engineering,  
Changchun University of Technology, Changchun  
130012;  
3. Dalian Fushi Bimetallic Manufacturing Co. Ltd,  
Dalian 116100)

**Abstract:** Aimed at the torch departure from seam in TIG welding of copper-clad aluminum wire, a visual sensor for automatic weld seam tracking system is developed by initiative arc light. The image of copper plate opposite seam is taken 20 mm the front of the torch. In order to decrease the time of video signal processing, analog circuit is applied in the process where video signal is magnified, trimmed and processed into binary by the datum of developing average value. Therefore, the waveform of video signal of copper plate opposite seam is obtained. The method that is used for judging the direction of warp and estimating the value of warp between copper opposite seam and tungsten electrode is established. Results show that the method is feasible to identify copper opposite seam based on visual sensor. A reliable system to real-time tracking seam of copper-clad aluminum wire TIG welding can be provided. The response cycle of this system is no more than 60 ms, and the tracking precision is less than 0.1 mm.

**Key words:** Visual sensor Copper-clad aluminum wire  
TIG welding Automatic tracking

作者简介: 李云峰,男,1968 年出生,博士研究生,副教授。主要研究方向为焊接智能控制与机电一体化。

E-mail: liyunfeng@mail.ccit.edu.cn