

# 点焊过程工艺参数采集及缺陷信息分析

薛海涛<sup>1,2</sup>, 宋永伦<sup>3</sup>, 李 桓<sup>2</sup>, 牛 永<sup>2</sup>, 李娟娟<sup>2</sup>

(1. 河北工业大学 材料学院, 天津 300130; 2. 天津大学 材料科学与工程  
学院, 天津 300072; 3. 北京工业大学 机电学院, 北京 100085)

摘 要: 采用基于图形化语言的虚拟仪器开发工具 LabView 开发了界面友好、操作简单的虚拟仪器——电阻点焊参数采集及缺陷信息分析系统。该系统实现了对铝合金点焊过程工艺参数的实时采集、数据传输与存储、波形同步显示, 以及对工艺参数的分析和处理, 对点焊过程中发生的缺陷状况做出评定和分析。在分析研究所采集的焊接电流和电极电压的基础上, 建立了基于电压曲线斜率变化的判读飞溅缺陷的算法和基于积分变化的判读脱焊缺陷的算法。所建立的算法应用于实践, 可准确地判读飞溅和脱焊缺陷。

关键词: 虚拟仪器; 数据采集; 数据分析; 电阻点焊; 焊接缺陷

中图分类号: TG409 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2004)04-103-04



薛海涛

## 0 序 言

随着铝合金点焊工艺在现代制造业中的广泛应用, 点焊的质量问题受到越来越多的关注。但是, 点焊质量的在线监测问题一直没有得到很好的解决。电阻点焊过程是一个高度非线性、有多变量耦合作用和大量随机不确定因素的比较复杂的动态热过程, 焊接条件短时间的波动就会造成较严重的后果。焊点质量与各参数在焊接过程中发生的变化密切相关, 所以设计点焊过程参数的实时采集与分析系统, 可以全面、准确地获取焊接过程中的动态参数, 经过实时处理分析后, 可以作为基本信息写入点焊专家系统实时数据库, 有助于实现焊点质量智能化在线评估和管理<sup>[1~4]</sup>。

作者采用基于图形化语言的虚拟仪器软件开发工具 LabView<sup>[5,6]</sup> 开发了虚拟仪器——点焊过程工艺参数采集及缺陷信息分析系统。该系统实现了对铝合金点焊过程工艺参数的实时采集(采集率达 10 kHz)、数据传输、波形显示, 以及对工艺参数的分析和处理, 提取评价焊接质量的特征信息及相关信息, 对点焊过程的质量和缺陷状况做出评定和分析。

## 1 参数采集及缺陷信息分析系统

所建立的点焊过程工艺参数采集及缺陷信息分

析系统由硬件和软件两部分组成。硬件部分主要完成数据的采集、信号调理、A/D 信号转换、数据的传输等功能; 软件部分主要完成数据的传输、数据的存储、数据的预处理、曲线的显示以及数据的分析处理等功能。

### 1.1 硬件部分

系统由一个中央控制模块和两个传感器模块组成。中央控制模块一端与计算机串口连接, 接收来自 PC (Personal computer) 机的命令, 向 PC 机传输数据。另一端通过硬件总线与传感器连接, 控制两个传感器模块进行数据采集。在焊接过程中由中央控制模块检测焊接开始信号, 触发传感器模块开始进行数据采集。当焊接过程完成后, 再由中央控制模块发出停止信号使传感器模块停止数据采集, 并通知计算机对两个模块的数据直接进行读取。

### 1.2 软件部分

软件的操作界面如图 1 所示。运行后, 点击复位按钮, 将各控件恢复为初始值, 然后进行参数设置。上述准备工作完成后, 拨动就绪开关, 使各模块自检就绪, 各就绪指示灯显亮后便可拨动采集开关进行数据采集, 相应指示灯将显示数据采集开始、结束及数据就绪状态。数据就绪后, 拨动电压/电流传输开关开始向 PC 机传输数据, 相应状态条显示数据传输进度。

数据传输完后便可进行显示及分析。选择焊点的型号, 然后按“显示分析”按钮开始曲线显示及分析。显示曲线时, 可在编辑框内输入要显示的曲线

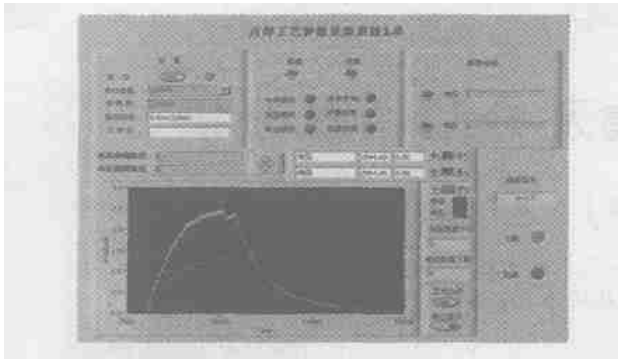


图 1 点焊过程工艺参数采集及缺陷信息  
分析系统软件操作面板

Fig. 1 Interface of data acquisition and defects analysis  
in resistance spot welding system

路径和名称,也可点击“显示分析”按钮后打开对话框来选择。焊点的电流及电压可同时显示在一个图形显示区中。面板中设有各种图形操作工具,可缩放、移动及光标跟踪,便于观察图形。若该焊点有飞溅或脱焊发生,相应指示灯则会点亮。

## 2 数据采集

数据采集模块与硬件系统具有共同完成数据的采集、传输、转换与存储的功能。PC 机为上位机,承担主控任务,负责对数据采集系统进行参数设定、指令发送,控制其数据采集的开始,以及经由计算机串口将经硬件系统采集并转换的数据传输并存储于 PC 机上。硬件系统为下位机,负责接收并执行 PC 机发出的指令,完成对点焊过程中动态参数的采集、转换、本地存储以及通过串口上传至 PC 机。

### 2.1 通信协议

为保证 PC 机和单片机之间能准确的识别命令并可可靠的传输数据,作者制定了基于 ASCII (American standard code for information interchange) 码字符集的通讯协议。通讯协议包括各 ASCII 码值的定义、命令帧、数据帧以及数据校验等内容。ASCII 码值定义部分定义了用来标识模块地址、指令及数据的 ASCII 码;命令帧定义了指令及确认信息的格式;数据帧定义了数据的数据格式、文件头、传输格式以及传输顺序等内容;数据校验部分定义了数据的校验方法。

### 2.2 采集模块的程序实现

数据采集时各个功能块从复位、设置参数、就绪、数据采集到数据传输是按顺序结构来安排程序的。

复位是在数据采集开始之前将所有相关控件恢复为默认值。参数设置主要完成各参数的设定,包

括串口选择、波特率设置、串口缓冲区大小、路径及文件名称设定。这几个参数分别连接到顺序结构局部变量上,向其它顺序结构传递设置值。就绪的功能是实现 PC 机与硬件系统的握手。当前面板上的“就绪”按钮被按下时,选择结构中的 For 循环执行三次循环,依次实现 PC 机向中央控制模块、电压模块和电流模块发送就绪指令并等待接收从各模块返回的确认字符串。当循环结构检测串口缓冲区有数据等待时,从串口读取数据并比较是否与预期的字符串相同,若相同,则表明对应的模块已接到命令并已经就绪,此时前面板的对应模块就绪指示灯点亮。若不相同或循环等待时间超过 2 s 还没有接收到确认信息,则跳出循环,弹出警告信息对话框,提醒用户检查硬件系统。图 2 为就绪命令的实现顺序及程序代码。数据采集命令的发送顺序及代码实现与此类似,此处不再赘述。

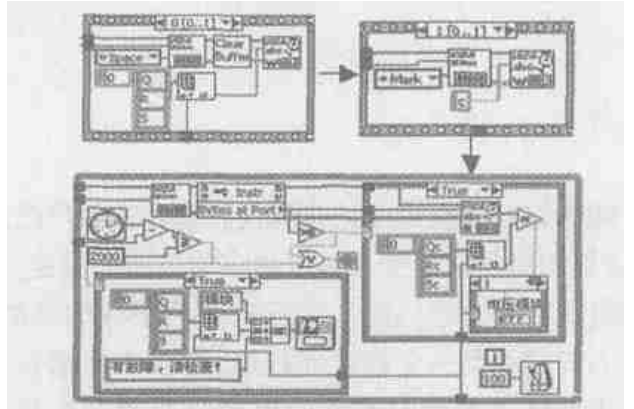


图 2 发送命令及接收确认信息的程序代码

Fig. 2 Program code of sending order and receiving  
confirmed information

数据采集结束后便可将数据从下位机上传至 PC 机。数据传输是根据数据类型分别传输的。由于第一帧数据与其它后续各帧数据结构不同,所以要分别实现。当程序检测到串口缓冲区有 64 个字符时,开始传输第一帧数据。每帧数据的后 4 个字符为校验字符,应该将校验字符所代表的含义提取出来并校验其正确性。校验正确,则 PC 机就向传感器模块发送“传送下一帧”命令,若校验没有通过,则 PC 机向传感器模块发送“重传本帧”命令。校验的程序代码如图 3 所示。

校验正确后便可存储数据。首先将从串口读取的字符串转换为十进制整数。第一帧数据的前 6 个字符代表着所采集的数据个数,将这一信息提取出来作为数据是否传完的判断依据,并作为进度条的赋值依据。由于传输的数据是以 0~256 之间的整数来表示 0~5 V 的电压数值,所以程序中应该将数据进行转换后再存储。另外,程序还将传输过来的

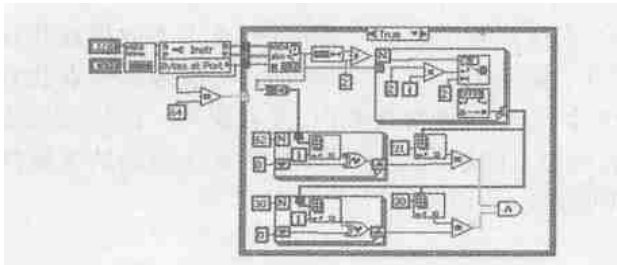


图 3 读取串口缓冲区及数据校验的程序代码

Fig. 3 Program code of read buffer and data checkout

数据(文本格式)直接进行了备份,以防数据在计算过程中出错。数据的存储与转换程序代码如图 4 所示。

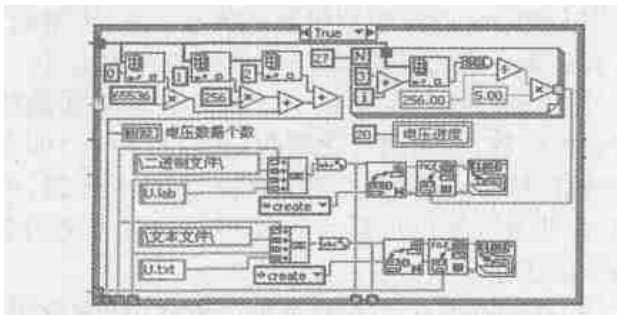


图 4 数据转换及存储程序代码

Fig. 4 Program code of data conversion and data storage

后续数据帧的传输、转换、校验以及存储除了不需要转换前 6 个字符所表示的数据个数外,与第一帧基本相同,不再赘述。

### 3 缺陷信息分析

作者深入地研究了采集的点焊工艺电参数,研究出了判读焊接缺陷种类的算法,实现了对焊接过程中出现的飞溅和脱焊缺陷的准确判读。

#### 3.1 飞溅缺陷信息分析

飞溅是铝合金冲击波点焊过程中一个常见的缺陷,在各动态参数中,电压曲线的变化最明显,一般从电压曲线图上就可以直观地观察到。这与有关专家的研究结果是一致的<sup>[3]</sup>。如图 5 所示,有飞溅的电压曲线在上升阶段出现了一个阶梯状畸变,可以把电压曲线这个阶梯状畸变作为判读焊点发生飞溅的特征信息。在提取这一阶梯状畸变时,为了保证有效性,必须对电压曲线进行滤波。

此外,发生飞溅的焊点的电压曲线高于正常焊点的电压曲线,如图 6 所示,图中最下面的曲线是没有飞溅的焊点,其它曲线是有飞溅的焊点。因此对电压曲线进行积分,将积分值与正常焊点的积分值进行比较,可以作为对焊点飞溅判断的补充判断,从而尽可能避免因滤波问题而产生的漏判和误判问题。

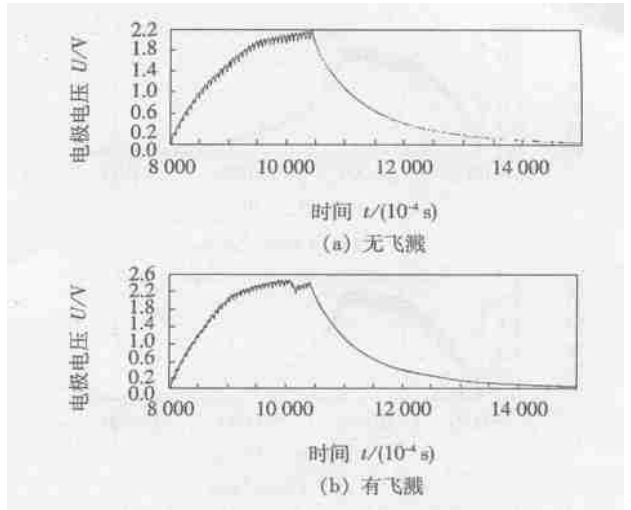


图 5 有无飞溅时电压曲线的比较

Fig. 5 Waveform comparison of splash voltage curve and non-splash voltage curve

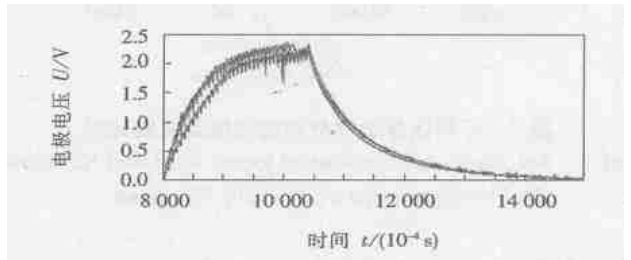


图 6 有飞溅和无飞溅焊点的电压曲线幅值比较

Fig. 6 Amplitude comparison of splash voltage curve and non-splash voltage curve

#### 3.2 脱焊缺陷信息分析

图 7 为三个不同板厚产生脱焊与没有产生脱焊的电压曲线的比较。容易看出,发生脱焊的电压曲线在上升阶段明显低于没有发生脱焊的电压曲线。若能提取该特征信息,便可比较准确地判断焊点是否发生脱焊。图 8 为图 7 中相应电压曲线的积分比较,其中每个图的第一个点为没有发生脱焊的焊点的电压积分值,可以看出,发生脱焊的焊点的积分值均明显低于正常焊点的积分值。计算出每种板厚及相应规范下正常焊点的电压曲线积分范围,作为比较的基础,便可通过比较电压积分值准确地判断焊点是否发生脱焊。

#### 3.3 试验验证

作者所建立的点焊工艺参数采集及缺陷信息分析系统对 4 mm + 1.5 mm、4 mm + 2 mm、4 mm + 2.5 mm、5 mm + 2 mm、5 mm + 2.5 mm、5.5 mm + 2.5 mm 几个规格的铝合金板材在冲击波点焊机进行了试验,调整焊接规范参数,使得每种规格的试板都出现一定数量的飞溅和脱焊缺陷。每种规格的

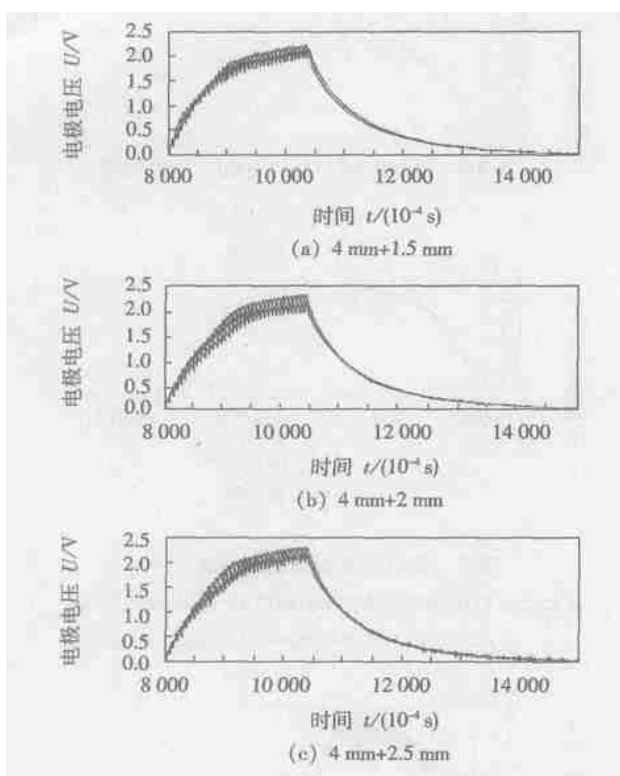


图 7 不同板厚脱焊与非脱焊电压曲线比较

Fig. 7 Amplitude comparison of loose weld and not loose weld voltage curve in different thickness

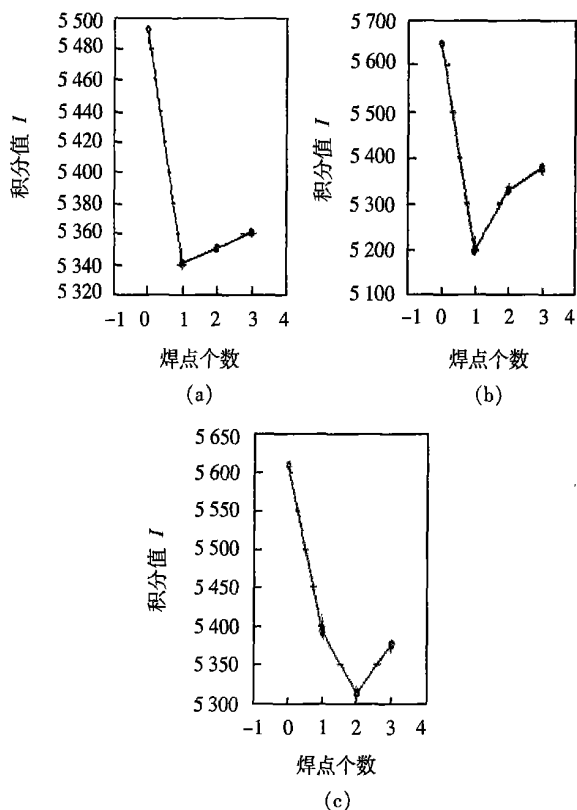


图 8 对应图 7 中电压曲线的积分值比较

Fig. 8 Integral value comparison of voltage curve in Fig. 7

试板分别焊接 50 个焊点, 采用撕破检验方法进行检验。在所焊接的 300 个焊点中, 有飞溅的焊点共有

97 个, 系统漏判 1 个, 误判 2 个; 有脱焊的焊点共有 115 个, 全部被系统检测出, 没有误判。试验结果表明, 所建立的缺陷信息判读算法有比较高的准确性和可靠性, 是切实可行的。

## 4 结 论

(1) 基于图形化语言开发工具 LabView 6.1 建立了点焊过程工艺参数采集及缺陷信息分析系统。该系统界面友好, 操作简单, 可根据需要随时扩展功能。用 LabView 开发虚拟仪器系统效率高、周期短, 而且有功能丰富的函数, 是一个优秀的开发工具。

(2) LabView 6.1 提供了一套具有完整功能的串口通信函数, 利用图形化编程语言(G 语言)的直观、快捷的优势, 通过各个功能块的组合和连接, 可方便、快速地开发出可适合各种不同通信协议的串行通信程序。

(3) LabView 6.1 在数字信号处理、数学分析、图像分析等领域都有着强大的功能, 利用其数据分析方面的强大功能可以方便地对铝合金点焊工艺参数进行分析处理, 实现了对点焊过程中出现的缺陷准确判读。

(4) 在充分分析研究采集数据的基础上, 建立了基于电压曲线斜率变化的判读飞溅缺陷的算法和基于积分变化的判读脱焊缺陷的算法。所建立的算法应用于实践, 可准确地判读飞溅和脱焊缺陷。

参考文献:

- [1] 刚 铁, 张 锦, 沈春龙. 点焊质量监控技术的发展与现状 [J]. 航天工艺, 1998, (5): 51-55.
- [2] 胡德安, 陈鹏展, 李唐柏, 等. 智能点焊专家系统实时数据采集与通信 [J]. 电焊机, 2002, 32(4): 15-17.
- [3] Luo X, Ji C, Zhang C, *et al.* Quality control visualization of direct current spot welder with secondary rectification [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2001, 22(1): 59-61. 罗贤星, 冀春涛, 张晨曦, 等. 三相次级整流点焊质量监控的可视化 [J]. 焊接学报, 2001, 22(1): 59-61.
- [4] Hao M, Osman K A, Boomer D R, *et al.* Developments in characterization of resistance spot welding of aluminum [J]. Welding Journal, 1996, 75(1): 1s-8s.
- [5] Johnson Gary W, Richard Jennings. LabView 图形编程 [M]. 武嘉澍, 陆劲昆译. 北京: 北京大学出版社, 2002.
- [6] 石博强, 赵德永, 李 畅, 等. LabView 6.1 编程技术实用教程 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2002.

作者简介: 薛海涛, 男, 1975 年 1 月出生, 博士研究生。研究方向为焊接电弧物理、焊接过程质量监控及智能控制, 发表论文 7 篇。

Email: nmxht@eyou.com