

# 伺服焊枪点焊 PLC 控制系统设计

张小云, 陈关龙, 张延松, 张旭强

(上海交通大学 机械与动力工程学院, 上海 200030)

**摘 要:** 基于 PLC 控制器设计了一套伺服焊枪点焊控制系统, 该系统集成了伺服焊枪和焊接控制器等设备。焊接过程中, 电极定位利用伺服电机的位置环来实现, 电极力则通过采集安装在电极杆上的 LoadCell 压力传感器的反馈压力信号来进行闭环控制, 与焊接控制器的通讯则由系统的 I/O 模块来完成。试验表明, 该伺服焊枪系统在焊接过程中电极定位迅速、电极力稳定, 并能够有效地提高焊接质量, 减少焊接飞溅, 延长电极寿命。

**关键词:** 伺服焊枪; 电阻点焊; PLC 控制系统; 闭环控制

**中图分类号:** TG438 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2006)07-001-04



张小云

## 0 序 言

电阻点焊(RSW)目前已被广泛应用于轿车白车身装配工艺中, 它是复杂的电、热、力等因素综合作用的结果。影响点焊质量的因素很多, 最主要的因素有焊接电流、焊接时间、电极力等<sup>[1,2]</sup>。焊接电流和时间多是由焊接控制器来调节, 通常是采用恒流控制法。

电极力在传统的气动焊枪中是由气缸来控制的, 由于气压系统所固有的缺陷, 无法保证电极力的稳定性; 新型的伺服焊枪采用交流伺服电机来控制, 电极速度、位置、压力都可以准确地进行控制, 因此伺服焊枪可以有效地控制电极力, 提高焊点质量<sup>[3,4]</sup>; 同时由于焊接时电极与工件的弹性接触, 伺服焊枪能够明显提高电极寿命<sup>[5]</sup>。

目前国外一些汽车制造厂商如丰田、本田公司已经将伺服焊枪用于生产线上进行车身点焊装配<sup>[6]</sup>。伺服焊枪在车身生产线应用时, 被集成在专门的焊接机器人上, 由机器人驱动。焊枪上的伺服电机被当作焊接机器人的附加轴, 由机器人控制器中专门的伺服单元来控制, 机器人控制器上安装点焊软件包, 能够实现焊枪定位、与工件软接触、预压、焊接、保压以及电极轴向磨损检测和补偿等功能。

随着伺服焊枪成本日趋降低, 其必将成为今后车身装配线上最重要的连接设备。

## 1 伺服点焊 PLC 控制系统硬件

试验系统采用 PLC 控制器来控制伺服焊枪单一轴, 以实现整个点焊过程<sup>[7]</sup>。伺服焊枪点焊控制系统主要由伺服焊枪、PLC 控制系统、焊接控制器等设备组成, 它们之间的集成如图 1 所示。

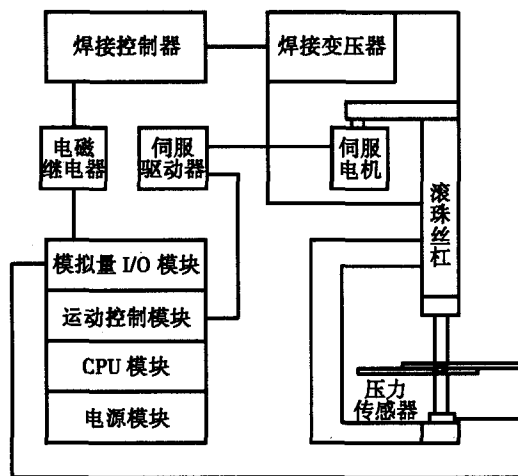


图 1 伺服点焊系统集成

Fig. 1 Integration of servo spot welding system

### 1.1 伺服焊枪

伺服焊枪主要由焊接变压器、欧姆龙公司交流伺服电机 R88M-W1K3(额定功率 1.3 kW, 通过电源和伺服编码器电缆与伺服驱动器连接)、滚珠丝杠、上下电极组成。伺服电机使用同步齿形带来带动丝杠旋转, 控制实现电极的进给, 电机的旋转量和旋转速度决定了电极的进给量和进给速度。

## 1.2 PLC 控制系统

PLC 控制系统是整个伺服点焊系统的核心,控制点焊的全过程。主要由 PLC 主机模块 CS1H - CPU65H、4 路模拟量 I/O 模块 MAD44、四轴运动控制模块 MC421 和交流伺服驱动器 R88D - WT15H(额定输出功率 1.5 kW,与焊枪上的伺服电机相匹配)组成。PLC 主机控制整个焊接过程的时序,I/O 模块完成与外围设备的信息交互,包括压力传感器信号和焊接完毕信号的输入,焊接程序选通信号的输出等,运动控制器存储编译好的 G 代码程序并转换成电机插补运动的脉冲信号,伺服驱动器则将运动控制器输出的脉冲信号放大,驱动电机旋转来控制电极进给。

## 1.3 焊接控制器

焊接控制器采用日本小原公司的焊接控制器 T25,其内部集成了恒流控制模块,当焊接过程中实际电流发生偏差时,控制器会自动调整可控硅触发角,保持焊接电流稳定。此外,焊接控制器还提供了一些常用的外部接口,如焊接允许信号、程序选通信号的输入、焊接保持结束信号的输出等。

## 2 控制方案设计

伺服焊枪一个特有的优势在于它具有压力环控制的同时还具有位置环控制。这样,当工件接触面变形严重以致施加额定焊接压力也无法很好的贴合时,电极的位置环便能保证使工件贴合紧密,减少和抑制焊接过程中的飞溅。

### 2.1 电极位置和速度控制

交流伺服电机的旋转量和旋转速度是由输入伺服电机的脉冲数以及脉冲频率来决定的。控制系统中,运动控制器提供了一个通用 G 代码编程接口,上位机使用 CX - Motion 软件来进行 G 代码程序的编写、编译和传输,PLC 则通过调用 G 代码程序来控制伺服电机旋转量和旋转速度。

经试验标定,在伺服电机带动下电极的进给速度为每脉冲 2.5  $\mu\text{m}$ ,当处于电机原点时,上下电极间的距离为 100 mm,试验中焊接工件为 2 块 1 mm 厚 45 号热镀锌低碳钢板。因此设定快速接近工件的子程序 P001 如下,使用绝对坐标系。

G90

G01 X39000 F30000

G90 表示绝对坐标系,G01 表示直线插补,X39000 表示 X 轴方向进给的脉冲数为 39 000,F30000 表示脉冲频率为 30 000 Hz。该子程序的执行

时间为  $39\ 000/30\ 000 = 1.3\ \text{s}$ ,运行完毕后,运动控制模块输出 39 000 个脉冲信号,电极向下进给量为  $39\ 000 \times 2.5/1\ 000 = 97.5\ \text{mm}$ ,进给速度为  $97.5/1.3 = 75\ \text{mm/s}$ ,执行完毕后,上电极快速接近到工件上表面。

### 2.2 电极力控制

交流伺服电机的输出转矩是由输入电机转子线圈的电流决定的,通常是采用交流变频器来进行控制,但交流变频器价格昂贵,这里使用现有的运动控制器,基于电机的位置伺服功能来实现压力闭环控制。在电极杆上安装 NI(美国国家仪器公司)的 Load Cell 型压力传感器 THC - 10K - V,压力信号接入模拟量 I/O 模块来组成闭环控制系统。PLC 主机接收反馈信号,比较当前电极力和预设压力的差值,控制电机进给,来实时调节电极力。

在 PLC 控制系统下,电机的进给是通过调用运动控制器中已存储的 G 代码程序来实现的,而 PLC 本身并没有创建任意 G 代码程序的功能,因此需要首先创建好一些预设的 G 代码子程序供 PLC 调用。

由试验标定可知,该焊接板材的力变化率为每脉冲 7.5 N,因此软接触加压过程中设定正向进给 G 代码子程序 P002 如下,使用增量坐标系。

G91

G01 X10 F2000

G91 表示使用增量坐标系,该子程序的执行时间为  $10/2\ 000 = 0.005\ \text{s}$ ,电极进给速度为  $2\ 000 \times 2.5/1\ 000 = 5\ \text{mm/s}$ ,能够实现电极与工件的软接触,减少碰撞时的冲击和噪音。最小力调整量为  $10 \times 7.5 = 75\ \text{N}$ ,即预压力最大偏差为 75 N,能够满足点焊要求。

焊接过程中电极力变化非常快,尤其是焊接开始和焊接结束阶段。焊接开始时由于工件受热膨胀导致电极力增大,此时电极力的增加对抑制焊点飞溅是有利的,因此这一阶段对电极力不予控制。而当焊接完毕时,焊点冷却收缩,电极力会迅速降低,这会影响熔核成形,因此对这一阶段进行压力调节。采用反馈控制算法,当电极力下降超过预设值时,调用电机进给子程序,增加电极力。

采用 P002 子程序来补偿电极力损失,其压力调节的速度为  $75/0.005 = 15\ 000\ \text{N/s}$ ,能够满足焊接压力实时控制的要求。如果需要在焊接过程中调节更大范围的电极力,可以创建更多类似的子程序以供 PLC 调用。

最后,预设电机快速回原点的 G 代码子程序 P003 如下,使用绝对坐标系。

G90

G00 X0

G00 为快速定位 G 代码。

### 2.3 系统与焊接控制器的通讯

PLC 控制系统 I/O 模块与焊接控制器的接口如图 2 所示。焊接控制器能够存储 15 个不同参数的焊接程序,采用手持编程器对每个焊接程序设定预压时间、焊接时间、焊接电流、保压时间等参数。PLC 系统模拟量 I/O 模块输出 4 个 5 V 的模拟量,经电磁继电器转化为 4 个开关量,连接焊接控制器的 4 路程序选通开关,选通某个焊接程序。焊接允许信号选择直接短接,这样当焊接控制器接收到焊接程序选通信号时,焊机会通电焊接。焊接完毕的开关量信号经 5 V 直流电源转化为模拟量,接入 I/O 模块的第 4 路模拟量输入通道,当焊接完毕时,PLC 接收该结束信号,控制电机反转至电机原点。

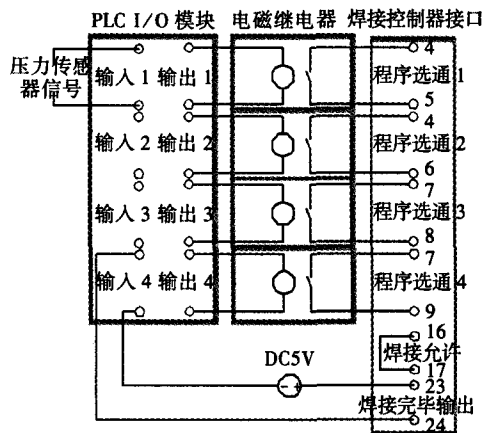


图 2 PLC 与焊接控制器接口

Fig.2 Interface of PLC and welding controller

完整伺服焊枪点焊过程的 PLC 梯形图程序流程图如图 3 所示。

## 3 控制方案应用结果

使用 NI 数据采集卡采集焊接全过程的压力传感器信号,获得的电极力曲线如图 4 所示,其中预压力设置为 3 000 N,预压时间为 0.2 s,焊接时间 0.2 s,保压时间 0.2 s。

图 4 中①为软接触加压过程,电极力从 0 增加到 3 000 N 的过程中耗时约为 0.8 s,加压快速准确而且较稳定。②为预压过程,实现电极与工件的紧密贴合。③为焊接过程,焊接开始的 3 周波 (0.06 s) 以内,电极力迅速增加到 3 200 N 左右,然后趋于稳定。④为焊后保压过程,在压力闭环控

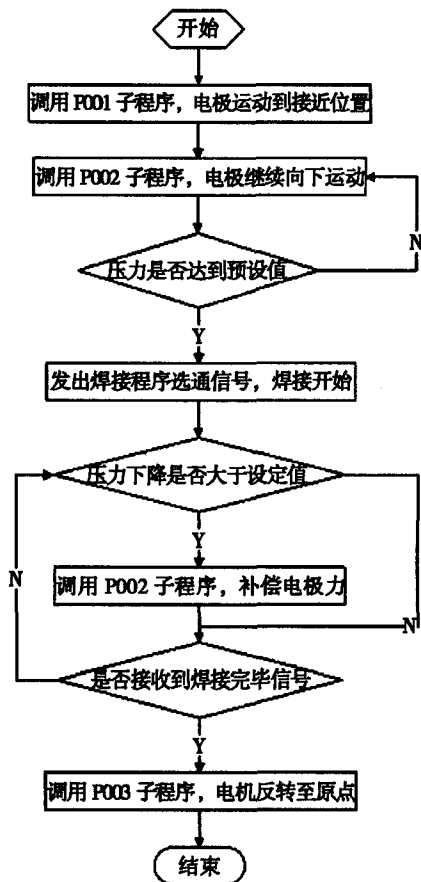


图 3 点焊程序流程图

Fig.3 Flowchart of spot welding progress

制作用下,电极力未出现大幅下降,维持稳定。⑤为电机反转回原点过程,电极力迅速下降。从加压开始到焊后保持完毕共用时 1.5 s,点焊过程中电极力比较稳定。

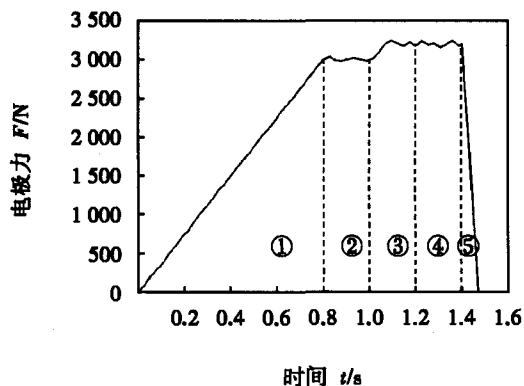


图 4 点焊电极力曲线

Fig.4 Electrode pressure profile during welding

针对 1.0 mm 厚 45 号热镀锌低碳钢,使用伺服焊枪系统和传统气动焊枪各进行 100 组点焊试验,使用端面直径为 5 mm 的球形电极,焊接电极力为

3 000 N,焊接电流10 kA,焊接时间10周波(0.2 s),焊接速率 15 点/min,试验结果如表 1 所示。

表 1 伺服焊枪与气动焊枪焊接效果对比

Table 1 Welding results of servo gun versus aeropneumatic gun

	平均焊点拉剪力 $F/N$	平均熔核直径 $D_1/mm$	平均焊点压痕 $D/\mu m$	电极端面直径 $D_2/mm$	电极轴向磨损 $L/mm$
伺服焊枪	4 456.9	5.4	264	5.2	0.06
气动焊枪	4 187.1	5.2	314	5.4	0.10

由表 1 中可以看出,使用伺服焊枪进行焊接时,由于电极力准确而且稳定,使得焊点的平均拉剪力比气动焊枪提高了约 270 N,平均熔核直径增加了 0.2 mm,明显的提高了焊点质量;同时抑制和减少了焊点飞溅,使得焊点压痕减少了约 50  $\mu m$ ,有利于提高焊点疲劳寿命。从电极磨损的角度看,由于电极与工件的软接触,经过连续 100 点的焊接后,伺服焊枪的电极轴向磨损量比气动焊枪减少了 0.04 mm,端面直径的增加量减少了 0.2 mm,有效地降低了电极磨损,延长了电极寿命。

## 4 结 论

(1) PLC 点焊控制系统有效地集成了伺服焊枪和焊接控制器,实现点焊的全过程,并且保持焊接过程中电极力稳定,抑止和减少飞溅,有利于焊点熔核形成,从而控制并提高了焊点质量。同时,由于电极与工件的软接触,伺服焊枪减少了电极在焊接过程中的磨损,延长了电极寿命。

(2) 利用伺服焊枪电极力闭环控制特性,可以针对各种不同屈服强度、不同厚度的焊接材料,实现焊接过程中电极力曲线最优化调整的目标,有助

于减少焊接变形和抑制焊接飞溅,进一步提高焊点质量,这是传统的气动焊枪所无法实现的。

## 参考文献:

- [1] 中国机械工程学会焊接学会. 电阻焊理论与实践[M]. 北京:机械工业出版社,1994.
- [2] 林忠钦,胡 敏. 轿车白车身点焊装配过程有限元分析[J]. 焊接学报,2001,22(1):36-40.
- [3] Karagoulis M. Nuts-and-bolts approach to the control of resistance spot welding[J]. Welding Journal,1995,73(7):27-31.
- [4] Gedeon S A, Sorensen C D, Ulrich K T, et al. Measurement of dynamic electrical and mechanical properties of resistance spot welds[J]. Welding Journal,1987,66(12):378-385.
- [5] Chatterjee K L, Waddell W. Electrode wear during spot welding of coated steels[J]. Welding and Metal Fabrication,1996(3):110-114.
- [6] Slavick S A. Using servoguns for automated resistance welding[J]. Welding Journal,1999,78(7):29-33.
- [7] Peng Xuefeng, Liu Jianbin, Chen Guirong. PLC serial communication control of motor speed controller[J]. Journal of National University of Defense Technology,1999,21(4):100-102.

**作者简介:** 张小云,男,1981年5月出生,博士研究生。主要研究伺服焊枪点焊质量控制及在线检测,发表论文2篇。

**Email:** fenixzy@sjtu.edu.cn