

锂电池极片超声波金属焊接机的设计

李正中, 周光平, 梁召峰, 陈鑫宏

(深圳职业技术学院超声重点实验室, 广东 深圳 518055)

摘要: 根据锂电池电极焊接工艺要求, 提出了一种基于压电陶瓷纵向振动的机械结构形式, 设计了一种全数字化控制的超声波金属焊接机电源系统。该电源系统采用移相 PWM 数字振幅控制、振幅阶梯输出、可编程的缓启动, 自动焊头频率搜索及自动频率跟踪等技术。实际使用证明, 该机能快速实现自动频率跟踪、精确振幅控制、完善故障保护。

关键词: 超声波金属焊接机; 锂电池; 频率跟踪; 移相 PWM

中图分类号: TG439.9

文献标志码: B

0 引言

锂离子电池电极焊接是指锂离子电池正负极的铜箔与镍片焊接、铝箔与铝片焊接、铝片与镍片焊接。铜箔厚度为 0.08 mm 左右, 铝箔厚度为 0.01 mm 左右, 镍、铝片为 0.1 mm 左右。常用的焊接设备有电阻点焊机、激光点焊机、超声波焊接机。电阻点焊机接头强度低, 铜箔或铜片焊接接触电阻大, 附加成本高。激光点焊机设备较为昂贵。超声波金属焊接机是利用高频振动波传递到 2 个需焊接的金属表面, 在加压的情况下, 使 2 个金属表面相互摩擦而形成分子层之间的熔合, 其优点在于快速、节能、熔合强度高、导电性好、无火花、接近冷态加工。现有超声波金属焊接机存在加工精度不高, 振幅、能量无法数字控制, 焊头更换调整困难, 匹配不好容易使焊头发热与震裂等缺陷, 难以满足锂电池铜箔或铝箔这类极薄工件的焊接。本文设计了一种全数字化控制的超声波锂电池电极焊接设备, 其具有自动频率跟踪、焊头频率自动搜索与存储、数字化振幅控制、多组参数存储、焊接输出功率图形显示、焊接质量上下限控制设定、故障保护等功能。

1 超声波金属焊接机的结构设计

超声波金属焊接机是利用高频振动波传递到 2 个

需焊接的金属表面, 在加压的情况下, 使 2 个金属表面相互摩擦而形成分子层之间的熔合。图 1 为电池正极铝箔与铝片, 负极铜箔与镍片焊接后的效果图。

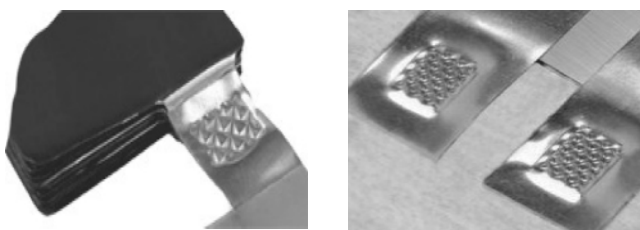


图 1 正极铝箔与铝片、负极铜箔与镍片焊接图

超声波金属焊接机结构包括超声换能器、变幅杆、焊接模具、组装法兰、支架以及气压装置, 结构示意图如图 2 所示。

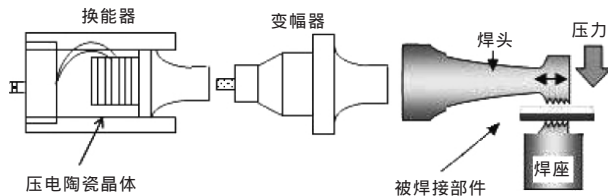


图 2 超声波金属焊接机结构图

现有超声波金属焊接机换能器中心频率以 20, 30, 40 kHz 为主, 本设计选用了 40 kHz 的换能器。超声波金属焊接中心谐振频率最终由换能器、变幅杆和焊头及负载的机械共振频率所决定, 因此要求发生器的工作频率能够跟随负载温度等环境的变化, 实现频率自动跟踪。焊头、变幅杆均被设计为一个工作频率的半波长谐振体, 在工作状态下, 两个端面的振幅最大, 应力最小, 而相当于中间位置的节点振幅为零, 应力最大, 设计为纵向振动。在焊接

位表面, 底座表面设计有菱形网纹, 用于防止金属件的滑动, 尽可能将能量传递到焊接位。

2 超声波金属焊接机电源电路结构

本超声波金属焊接电源系统采用 ARM 嵌入式微处理器作为控制芯片, 基于 WINCE 操作系统, 由触摸屏彩色液晶完成加工参数的设置、过程参数的显示。由交流整流滤波电路、全桥逆变电路、高频变压器及匹配电路构成控制主电路。输出电流经过带通滤波及电流有效值偏差检测电路, 送入到压控振荡器组成频率跟踪电路。输出电压电流信号送入到乘法器, 进行功率计算, 微处理器对功率进行实时采样和能量计算, 输出两路相位可变的频率信号, 加到逆变驱动电路, 实现输出功率的调节。系统采集电源电压信号、输出电压电流信号以及频率偏移信号, 实现电压补偿、故障报警及保护。系统同时集成换能器及工具头的气压系统的控制电路、以太网/RS485/RS232 通信接口电路。主电路原理图如图 3 所示, 系统电路结构框图如图 4 所示。

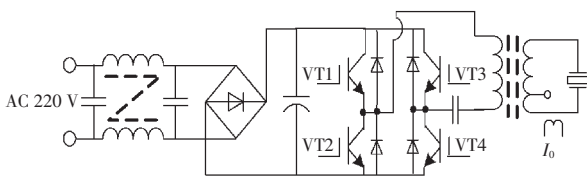


图3 主电路原理图

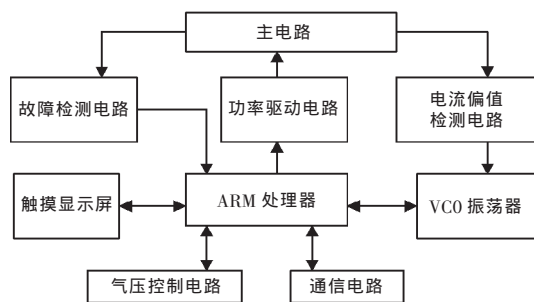


图4 系统电路结构框图

3 振幅控制及振幅阶梯输出实现

3.1 移相 PWM 控制

为了达到振幅输出的精细控制, 本系统设计了基于移相控制技术的功率驱动电路。ARM 控制器根据设定的能量值或幅度, 输出两路相位可变的超声频率信号 PWMA 和 PWMB, 改变两路信号的相位差就可

以实现输出能量的调节, 控制精度可以达到 0.1 J, 控制波形如图 5 所示。

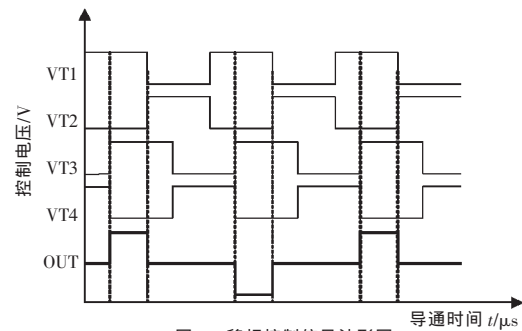


图5 移相控制信号波形图

3.2 振幅阶梯输出

锂电池电极在焊接过程中所需能量较小, 要求焊接振幅均衡, 能量变化不能太大, 否则容易使极片震裂, 同时为了提高加工效率及质量, 焊接完成后, 极片与焊头要充分分离。根据其焊接工艺的要求, 本电源设计了可编程缓启动以及振幅阶梯输出程序。图 6 为缓启动及振幅阶梯输出过程图。缓启动电路可以避免系统在启动时焊头与工件接触不好, 系统失谐的情况下造成极片开裂, 损坏换能器及功率电路。缓启动时间 T_d 可以由程序设定, 较小工件时设置较短的缓启动时间, 提高效率; 较大工件时, 设置较长的缓启动时间, 达到保护电路的目的。焊接结束前施加较小的二次超声能量, 可以使极片与焊头充分分离, 施加二次超声能量的时间 T_s 也可以根据实际加工情况通过参数设定。

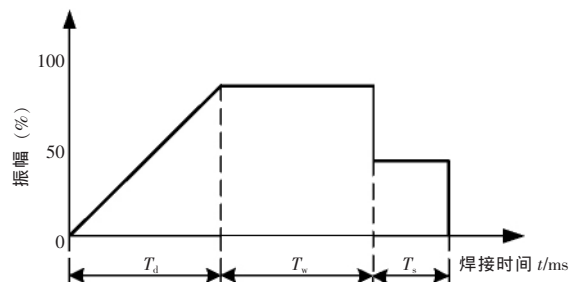


图6 振幅阶梯输出

4 焊头频率搜索及频率自动跟踪电路

4.1 焊头谐振频率自动搜索与存储

焊接模具和焊接工件的改变, 往往需要进行手动调整系统的工作频率, 这个过程需要熟练的技术人员经过多次调整才能完成。本系统设计了一套自动谐振频率搜索与存储电路, 系统每次冷启动时, ARM 控

制器以一个很小的功率对系统进行扫频,同时检测输出功率和输出电流有效值偏差,能自动将输出功率较大,电流偏差较小的频率点存储下来,作为谐振中心频率。同时系统的幅频特性曲线以图形的方式在液晶上显示出来。当检测谐振频率偏差较大时,发出频率偏移报警。

4.2 频率自动跟踪

在超声波焊接过程中,温度、焊接压力、负载等因素的变化,引起固有谐振频率变化使系统的振动失谐、振幅降低,影响加工质量,同时换能器工作在失谐状态会因过热而损坏。因此超声波电源输出频率自动跟踪系统固有频率变化是解决超声焊接振幅稳定的关键。

频率跟踪目前有以下几种典型系统:(1)采用电流信号将换能器设定在电流最大的工作状态;(2)采集输出电流信号和电压信号,将两者相乘得到换能器的电功率信号将换能器设定在电功率最大的工作状态;(3)采集电流信号和电压信号,通过鉴相器得到两者的相位差信号,使换能器工作于电流和电压同相的状态。上述方法在实际工作中由于电路失谐时,电流波形畸变,无功电流的产生以及存在多个谐振点等因素,往往难以达到理想效果。

本系统采用一种新型的频率跟踪方法,即通过检测输出电流的有效值偏差来控制频率的发生。在一个电压周期内,如果电压、电流不同相,那么在这个电压周期的正负半周的电流的有效值也是不同的,通过检测电流有效值偏差来控制频率发生器,从而达到自动频率跟踪的目的,避免了采用电压、电流相位差检测中电流波形畸变的影响。电路结构图如图 7 所示。

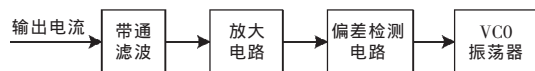


图 7 频率自动跟踪电路结构图

4.3 频率自动跟踪测试

本系统设计为一个 40 kHz, 800 W 的超声波金属焊接电源。换能器频率特性如图 8 所示,系统设计工作在并联谐振频率 (f_p), 频率为 39.665 kHz。换能器工作于并联谐振频率时 f_p , 其输出功率会随负载的变化而自动调节,这样可以保证换能器在有载时得到足够的功率,而在空载时避免了因承受过大功率而损坏。

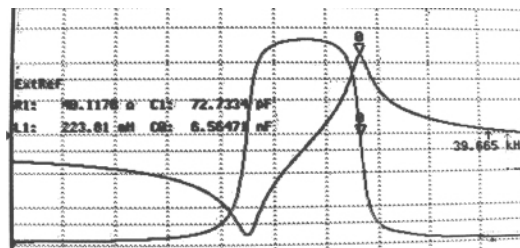


图 8 换能器频率特性图

系统在空载情况下电压电流波形如图 9 所示,该空载电流很小,输出功率也很小,避免换能器在空载时发热。而负载时,输出功率增大,电源系统能够很好地跟踪频率的变化,负载情况下的电压电流波形如图 10 所示。电流波形在空载情况下不是一个理想的正弦波,如果采用传统的电压电流锁相 (PLL) 方法将无法得到一个正确的相位差,也就无法正确地跟踪系统频率的变化。而本文设计的电流有效值偏差频率自动跟踪方法可以有效地避免电流畸变引起的跟踪错误。

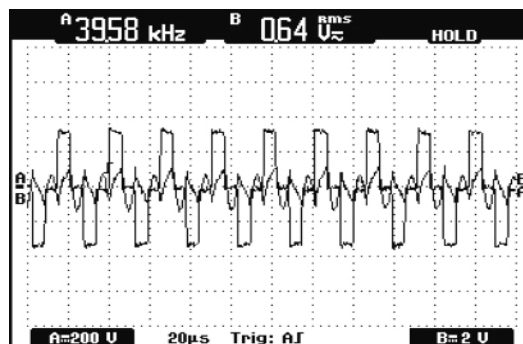


图 9 空载下电压电流波形

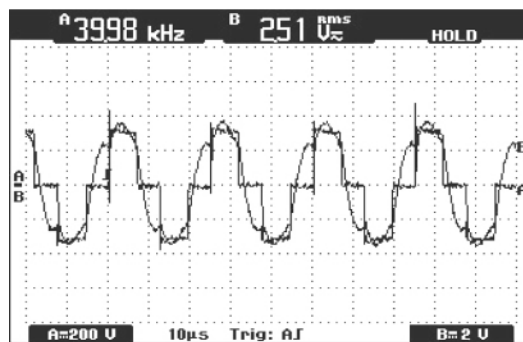


图 10 负载下电压电流波形

5 结语

本电源系统具有时间控制、能量控制等模式,数据采集速率能达到 2000 次/s,时间控制精度可达到 1 ms,

(下转第 55 页)

表 3 焊道数量及顺序

壁厚/mm	根焊	热焊	填充	盖面
11	1	1	1	1
12	1	1	2	1
14	1	1	3	1
15	1	1	3	1

2.3 焊前准备

(1) 采用火焰加热, 预热温度为 85 ℃。若环境温度不低于-15 ℃, 加热宽度不小于 100 mm; 若环境温度低于-15 ℃, 加热宽度不小于 500 mm。

(2) 将坡口表面及两侧各宽 20 mm 范围的锈、油污彻底清除干净, 直至露出金属光泽, 以免焊接过程中产生气孔等缺陷。

(3) 对纤维素型焊条 E6010 进行烘干, 烘干温度为 70~80 ℃, 保温 0.5~1 h。

2.4 组对与定位焊

管的组对与定位焊是保证“向下立焊”焊接质量, 并使管背面成形良好的关键。为保证管道对口质量, 组对时采用内对口器。螺旋缝或纵缝错开间距不得小于 100 mm, 相邻环间距不得小于 500 mm; 错边量小于 1.6 mm; 对口间隙为 1.6~2.5 mm。在根焊道焊接完成后, 才能撤出内对口器。

定位焊是正式焊缝的一部分, 不但要求单面焊双面成形, 而且要保证焊接质量, 不得有夹渣、未焊透、气孔、焊瘤等缺陷。定位焊焊缝长度<20 mm, 定位焊为 3 点, 沿管圆周均匀分布, 定位焊缝的两侧

应打磨成缓坡状, 以利于其与正式焊缝接头。

2.5 焊接工艺参数

焊接工艺参数的合理选择直接影响焊缝的成形, 以及避免焊接缺陷的产生。由于根焊、热焊、填充和盖面焊的目的不同, 因此焊接工艺参数有所区别, 各层具体的焊接工艺参数见表 4。

表 4 焊接工艺参数

焊道	焊材牌号及规格/mm	极性	焊接方向	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(cm·min ⁻¹)	热输入/(kJ·cm ⁻¹)
根焊	E6010, $\phi 3.2$	负	向下	60~90	25~35	6~13	13~17
热焊	E71T8-K6, $\phi 2.0$	正	向下	180~250	18~19	15~30	10~15
填充	E71T8-K6, $\phi 2.0$	正	向下	160~240	18~19	12~25	12~17
盖面	E71T8-K6, $\phi 2.0$	正	向下	160~240	18~19	12~25	12~17

3 其他措施

(1) 每层由 1 名焊工焊接, 道间温度应控制与预热温度接近, 但不超过 200 ℃。根焊结束与热焊开始的时间间隔小于 5 min, 无需焊后热处理。未能连续焊完的焊口须完成根焊道和热焊道。重新焊接前, 须按预热温度要求重新预热, 并完成后续焊道的焊接。

(2) 环境温度低于 0 ℃时, 应采取焊后保温、层间保温、层间加热等有效措施, 防止焊缝冷却过快。若空气相对湿度大于 90%及风速大于 0.5 m/s 时, 应搭建防雨棚等。

作者简介: 生利英 (1967—), 女, 辽宁省金县人, 硕士研究生, 高级工程师, 副教授, 主要研究方向: 材料加工。

(上接第 42 页)

能量控制精度为 0.1 J。系统具有电源过欠压报警、过流报警、过热报警、频率漂移报警及焊接过程中超出能量上下限的产品质量缺陷报警, 同时系统提供以太网、RS485/RS232 通信接口、MODBUS 协议, 可直接与 PLC 通信。本系统已用于生产, 效果良好。

参考文献:

- [1] 鲍善惠, 王敏慧. 超声波发生器的频率跟踪电路[J]. 洗净技术, 2003(10): 3-6.
- [2] Shoh A. Welding of thermoplastics by ultrasound[J]. Ultrasonics, 1976(9): 209-217.
- [3] 鲍善惠, 王艳东. 压电换能器在并联谐振频率附近特性的研究[J]. 声学技术, 2006(2): 165-168.

- [4] 李小雪, 李平, 汪东, 等. 夹心式压电换能器的谐振频率跟踪方案设计[J]. 应用声学, 2009(4): 314-320.
- [5] Gunduz I E, Ando T, Shattuck E, et al. Enhanced diffusion and phase transformations during ultrasonic welding of zinc and aluminum[J]. Scripta Materialia, 2005(52): 939-943.
- [6] 朱政强, 吴宗辉, 范静辉. 超声波金属焊接的研究现状与展望[J]. 焊接技术, 2010, 39(12): 1-5.
- [7] 闫久春, 杨士勤, 王小峰. 超声波塑料焊机功率自动调节电路的分析[J]. 哈尔滨工业大学学报, 1997(2): 97-99.
- [8] 余泽洋. 超声波金属焊接频率跟踪仿真控制研[D]. 广东 广州: 广东工业大学, 2005.

作者简介: 李正中 (1970—), 男, 副教授, 硕士, 主要从事自动控制、超声波清洗设备和超声波焊接设备以及医疗超声波设备的电源系统研究开发工作。

Diffusion welding technology of Al_2O_3 dispersion-strengthen copper/copper*CHEN Jian, CUI Ting*

(Provincial Laboratory of Advanced Welding Technology, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, Jiangsu pro., China) P28–31

Abstract: Al_2O_3 dispersion-strengthen copper and copper were bonded together by vacuum diffusion welding technology. The microstructure feature of the joints interface were investigated by scanning electron microscope. The influence of diffusion welding parameters on interface combining state and microstructure of Al_2O_3 dispersion-strengthen copper/copper interface were studied. Through orthogonal experiment, the effect order of three factors was as follows: diffusion temperature>pressure>holding time. The experiment results showed that when diffusion temperature was 550 °C, holding time was 3 h, pressure was 25 MPa, the joint of Al_2O_3 dispersion-strengthen copper/copper was compact structure and the interface was continuous. The tensile strength of joint was up to 116.9 MPa.

Key words: Al_2O_3 dispersion-strengthen copper, copper, vacuum diffusion welding, orthogonal experiment

Design of welder in group control system based on ZigBee and CAN bus*WANG Chun^{1,2}, LIAO Ying-hua^{1,2}, LIU Gao-jun^{1,2}, HUANG Bo^{1,2}*

(1.Sichuan Provincial Key Lab of Process Equipment and Control, Zigong 643000, Sichuan pro., China; 2.Mechanical Engineering College, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, Sichuan pro., China) P34–36

Abstract: In view of present situation of monitor signal was interfered easily, communication wiring was complicated when welder working at the same time, the scheme of welder in group control was proposed based on ZigBee and CAN bus. The system was composed of terminal node, coordinator node and monitoring center. Terminal node which had the function of welding parameter acquisition, could transmit the information to coordinator based on ZigBee wireless. The information could get together in coordinator node and transmit the information to monitoring center which realized the function of real-time display, warning and inquire based on CAN bus. The results showed that this system, which could improve the reliability and stability of communication in nodes, provided the technical support to informatization of welding production.

Key words: ZigBee, CAN bus, group welder, monitoring system

Design of ultrasonic metal welding machine for lithium battery electrode*LI Zheng-zhong, ZHOU Guang-ping, LIANG Zhao-feng, CHEN Xin-hong*

(Ultrasonic Technology Key Lab, Shenzhen polytechnic College, Shenzhen 518055, Guangdong pro., China) P40–42, 55

Abstract: According to the welding process of lithium battery electrode, a mechanical structure was proposed based on piezoelectric ceramic longitudinal vibration. A full digital control of ultrasonic metal welding power system was designed. In this welding power system, phase-shifted PWM digital amplitude controlling, amplitude stepping, programmable starting rate, stack frequency auto seeking and frequency auto tuning technologies were applied. It was proved that the machine could track frequency quickly, precisely control amplitude and protect from all kinds of fault in practical application.

Key words: ultrasonic metal welding machine, lithium battery, frequency tracking, phase-shifted PWM