



多电弧焊接过程监测教学实验平台设计

冯曰海, 张天齐, 周 櫟, 王克鸿

(南京理工大学 材料科学与工程学院, 南京 210094)

摘要: 该文基于 LabVIEW 虚拟仪器开发平台, 该文自主研制了一种多电弧焊接过程参数监测教学实验平台。该平台的硬件装置包含触控显示主控模块、数据采集滤波模块、特征参数传感模块和高频高压信号隔离模块等构成, 软件系统分别针对单丝熔化极气体保护焊、双丝熔化极电弧焊、钨极氩弧焊和等离子弧焊焊接过程, 开发了各自的焊接电流、电弧电压和熔敷金属温度等参数检测记录与分析模块。该实验平台已经用于开展了多项创新实验项目, 教学实践表明, 该平台具有良好的的人机界面和智能评价特性。教学平台的应用和创新实验项目的实施, 有效提升了学生对现代科学知识的应用与创新实践能力, 为新工科创新人才的培养提供了支撑。

关键词: 电弧焊; 虚拟仪器; 教学实验平台; 数据采集

中图分类号: G484; TM933

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20190181

Design of the Teaching Experimental Platform for Monitoring Multiarc Welding Processes

FENG Yuehai, ZHANG Tianqi, ZHOU Deng, WANG Kehong

(School of Materials Science and Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: A teaching experimental platform for monitoring and measuring multi-arc welding processes has been developed based on LabVIEW virtual development platform. Its hardware equipment includes touch displaying control module, data filtering module, signal sensing module and high frequency and high voltage signal isolation module. Its software system includes four software modules for monitoring and measuring arc welding of single wire gas metal, double wire gas metal, gas tungsten and plasma. Each software module can monitor and measure welding current signal, arc voltage signal and deposited metal temperature signal. The platform has been used in many innovative experimental projects. Teaching practice shows that it has good man-machine interface and intelligent function. The teaching platform and the innovative experimental projects have effectively enhanced the students' capability of applying modern scientific knowledge and making innovation in practices, which provide powerful support for training new engineering professionals.

Key words: arc welding; virtual instrument; teaching experimental platform; data acquisition

近年来, 随着智能控制技术的发展, 制造技术焕发了蓬勃的生机, 先进制造业的新业态已初现端倪。在新技术、新业态、新产业、新模式为特点的新经济发展背景下, 2017 年我国教育部开展了“新工科”建设, “新工科”教育更加注重新技术与传统工业技术的融合^[1-4]。材料成型及控制工程专业焊接方向课程属于传统工业技术的范畴, 由于新型实验设备的短缺, 课程实验时新技术内涵往往难以体现, 迫切需要满足新工科人才

培养要求的实验教学平台^[5-6]。

南京理工大学材料成型及控制工程专业焊接方向课程中, 电弧焊内容占比达到 70% 以上, 在本科毕业设计和研究生阶段课题研究中都居于核心地位。为了使學生深入理解不同电弧焊接的熔滴过渡控制机制, 掌握电弧形态与焊接过程参数的关系, 为开发焊接创新实验项目提供重要支撑。并进一步提升本科生和研究生对新技术的感知, 提高学生的新技术创新意识和科研创新

收稿日期: 2019-05-05; 修回日期: 2019-06-24

基金项目: 江苏省高等教育教改课题(2017JSJG117); 南京理工大学高等教育教改重点课题(2017-I-10); 南京理工大学自主探索专项(30918013120)。

通信作者: 冯曰海(1976-), 男, 博士, 副教授, 主要从事从事焊接自动控制、焊接电源等实践教学方面的研究。

实践能力,本文基于LabVIEW虚拟仪器开发平台,针对常用的单丝熔化极气体保护焊(gas metal arc welding, GMAW)、双丝熔化极电弧焊、钨极氩弧焊(gas tungsten arc welding, GTAW)和等离子弧焊(plasma arc welding, PAW)4种焊接工艺,开发了一套多电弧焊接过程参数监测教学实验平台。

1 多电弧焊接过程参数监测实验教学思路

在材料成型及控制工程专业焊接方向学生的理论教学中,由于电弧焊课程比较抽象,不同种类电弧的电源控制模式也不一样,使得学生在理解电弧燃烧过程中电参数控制特点和熔滴过渡的实现方式时特别困难。为了深入透彻理解如何通过电流电压的波形控制实现不同电弧的控制、波形变化对熔滴过渡的影响以及不同弧焊方法是熔敷金属温度的差别,并掌握多电弧焊接过程参数测量方法,特此围绕“工艺方法-波形控制-熔滴过渡”这个主题建设创新实验项目,并开展了多电弧增材。

“工艺方法-波形控制-熔滴过渡”相关试验项目的建设是面向材料成型及控制专业的电弧焊接物理与焊接方法和弧焊电源及其数字化二门课程展开的。学生需要学习完成模拟电路和数字电路课程,并进行了电弧焊接物理与焊接方法和弧焊电源及其数字化部分理论学习,掌握不同电弧的工艺方法的特点后,再进行此类实验。目的就是采用新材料、新方法和新工艺的创新实验方案,引入数字化和信息化检测手段,让电弧焊接过程的学习从抽象变得具体,从技艺走向科学。让电源控制参数的调节走出焊机,让学生能够看得见摸得着。通过实验,不但可以深入理解电流电压的波形控制、熔滴过渡控制以及不同弧焊方法是熔敷金属温度的差别等理论知识。更重要的是通过全新实验项目的建设与实施,培养学生创新思维,启发学生的科学思维意识。并引导学生了解新技术,培养学生跨越学科的界限,应用多方面的知识解决科学问题的能力。

2 实验教学系统整体功能设计

多电弧焊接过程参数监测实验教学实验教学

平台,是基于NI Labview虚拟仪器设计平台开发的,平台主要包含单丝GMAW、双丝GMAW、GTAW和PAW四类焊接过程监测教学模块。该教学实验平台由基于USB4711采集卡研制的多电弧焊接参数采集硬件装置和基于Labview软件平台开发的多电弧焊接过程监控软件组成。具体构成如图1所示。

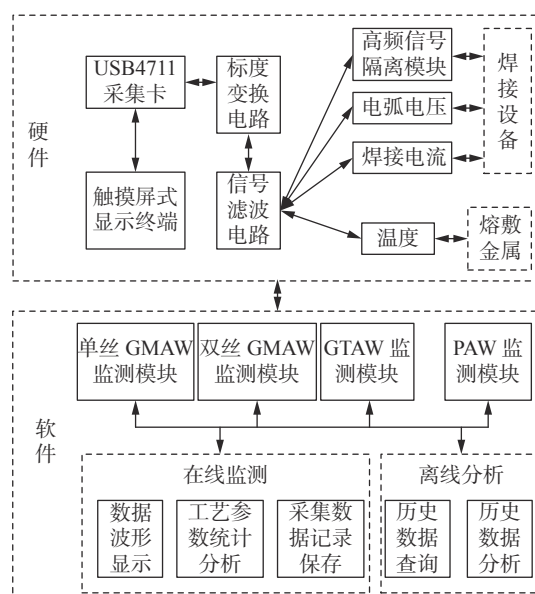


图1 教学实验平台构成示意图

3 参数采集硬件装置设计与组装

焊接参数采集硬件装置构成如图1所示,平台包含信号传感与隔离单元、信号滤波和标度变换单元、数据采集卡和触屏式显示终端构成。

3.1 信号传感与隔离单元

3.1.1 电弧电压与焊接电流信号传感模块

考虑焊接电源的焊接电流和电弧电压信号存在较多干扰的特点,测量电弧电压和焊接电流信号选用闭环霍尔电流与电压传感器进行测量。传感采用宇波模块的CHB-500T的电流传感器和CHV-50P的电压传感器来实现。

3.1.2 熔敷金属温度信号传感模块

熔敷金属温度测量采用红外传感器测量^[7-8]。模块选用如图2所示的米铎公司红外温度传感器,其测量范围为50℃到400℃,其响应时间短,分辨率高达0.1℃。能够完成距离传感器90 mm到250 mm内的温度测量。该传感器输出与温度信号成比例的电压信号,供给数据采集卡使用。



图2 红外温度传感器

3.1.3 GTAW/PAW 高频高压信号隔离模块

GTAW 和 PAW 的引弧方式均为高频高压引弧电弧,在引弧的瞬间依靠高频高压击穿电极与喷嘴之间的空气形成电弧,引弧时输出的电压可达 4000 V,频率可达 30 KHz。本平台采用霍尔闭环电压传感器测量电压,测量时会直接将带有电阻的传感器连接至焊机的正负电极之间,但过高的电压会直接损毁传感器并进而损毁与之相连的调理电路,为了避免引弧高压信号引入传感器和信号调理电路,直接损毁传感器并进而损毁与之相连的调理电路,因此需要采取措施对电路进行高压防护隔离^[9]。

由于引弧瞬间产生的高压对霍尔电流传感器的工作并无影响,引弧结束时电弧所形成的回路产生焊接电流和正常的焊接电压,当电流被测量时高压信号已经消失。可以利用这一特点通过检测电流信号的发生来控制调理电路。本系统设计了通过测量引弧电流信号,采用触发电路触发电弧电压测量的高频高压隔离方案,其原理如图 3 所示。引弧前先将 GTAW/PAW 的电弧电压信号利用固体继电器物理隔离。控制电路一旦检测引弧电流达到合适值,电弧稳定燃烧后,继电器闭合,电弧电压信号进入采集调理电路,进行电弧电压信号的测量,从而避免引弧时高频高压信号的破坏性干扰。

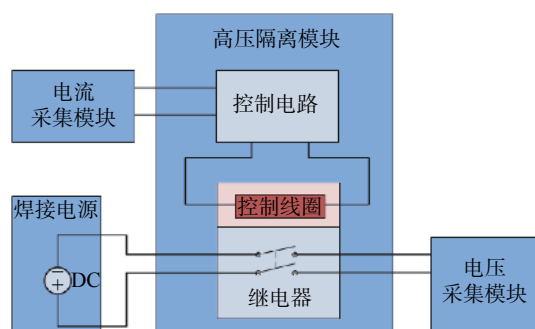


图3 高压隔离方案示意图

3.2 信号滤波单元

焊接设备现场设备繁杂,同时焊接电源本身存在高频的谐波,都会干扰焊接电源的焊接电流和电弧电压输出信号。为了保证采集信号的稳定,考虑到通常逆变电源的频率一般为 20 KHz,设计时采用巴特沃斯二阶有源低通滤波器,其截止频率为 100 KHz。

3.3 数据采集与显示终端

数据采集卡选用台湾研华公司的 USB471 数据采集卡,利用 8 路信号输入通道分别采集多台焊机的电流和电压信号、熔敷金属温度信号,采集卡通过 USB 线和计算机进行信息交换。计算机显示终端采用超凡触摸科技的触摸查询一体机,电脑主机和开发的所有硬件模块都集成放置在控制柜中,连接调试后的单元集成如图 4 所示。硬件模块以 USB 4711 采集卡为核心,包含二块信号调理和标度转换电路板,每个电路板上可对 2 路焊接电路和电弧电压信号进行处理。红外温度传感器的温度信号(转换后的电压信号)直接接入 USB 4711 采集的信号输入端。焊接参数采集硬件装置与双丝 GMAW 焊接装备连接如图 5 所示。



图4 硬件电路单元集成照片



图5 双丝 GMAW 监测教学实验平台照片

4 焊接过程监测软件编制与实现

如图1所示,软件模块包含单丝 GMAW 监测模块、双丝 GMAW 监测模块、GTAW 监测模块和 PAW 监测模块。4 种模块均由在线监测程序和离线分析模块构成。软件的编制主要分为功能选择界面、在线检测界面和离线分析界面。

4.1 功能选择界面

软件开始界面主要负责不同电弧焊接方法的选择,包含单丝 GMAW 监测、双丝 GMAW 监测、GTAW 监测和 PAW 监测选择按钮,历史数据查询和分析选择按钮。具体界面如图6所示。程序设计时通过选择按钮来启动不同子程序,从而实现不同焊接方法的选择,利用 Switch 选择结构实现。

4.2 焊接过程在线监测界面

焊接过程监测主要包括工艺数据录入区、实时焊接电流和电弧电压波形显示区、熔敷件金属温度、弧压分布等^[10-14]。为选取的单丝 GMAW 焊接过程参数监测界面如图7所示,其余工艺方法监测界面与此类似。界面的工艺数据录入区用来记录焊接工艺参数,采用数值输入控件实现。系统通过采集卡输入到计算机的信号根据模拟信号输入端口分成七组,不同信号通过乘以缩放倍数和均值处理后输出到波形显示和数值显示控件。并采用数组循环读取方式实时存入数据文件,可以让学生更加容易记录实验数据。

4.3 工艺数据离线分析界面

焊接过程监测数据的记录与保存是开展教学实验的关键,也是开展新技术实践教学基础。焊接工艺参数查询分析模块同样包含了焊接电流、

电弧电压和熔敷金属温度测试数据的波形重现。系统设计时通过 LabVIEW 的打开文件函数控件来打开已经保存的波形数据,然后根据索引编号找到相应的信号波形进行显示。通过提取波形时间坐标和信号幅值参数分别计算出采集总时间和信号幅值的平均值。选取的 PAW 焊接过程参数查询分析界面如图8所示,该软件同时还包含热丝电源加热参数的测量显示部分。其余三种工艺的焊接过程参数查询分析程序与此类似。



图6 功能选择界面

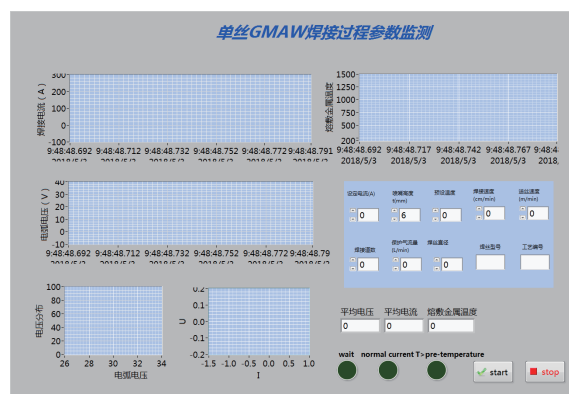


图7 单丝 GMAW 监测界面

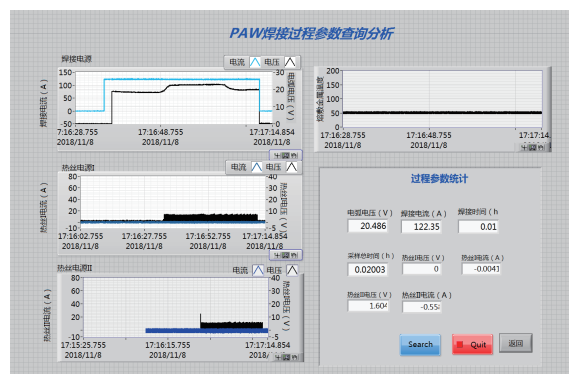


图8 PAW 焊接过程参数查询分析界面

5 新开发的实验项目

面向材料成型及控制工程专业焊接方向学生

新工科培养的要求,围绕“工艺方法-波形控制-熔滴过渡”的核心主题,结合电弧焊接物理与焊接方法和弧焊电源及其数字化核心实验需求,立足所开发的教学实验平台,新开发了 5 项创新性实验项目。

1) GMAW 小电流短路过渡波形控制测试与原理分析实验:该教学实验主要进行低碳钢 CO₂ 气体保护焊接过程时,测量不同工艺规范条件下,短路过渡模式下的焊接电流和焊接电压波形,分析的短路过渡的波形控制参数特征。

2) GMAW 脉冲波形参数特征与熔滴过渡模式分析:该教学实验主要进行铝合金脉冲 GMAW 焊接时,测量不同工艺规范条件下,测量脉冲频率与规范参数的关系,实验分析峰值电流等脉冲参数对脉冲熔滴过渡的影响。

3) PAW 电弧弧长与电弧电压的关系测量实验:该教学实验主要进行弧长变化的台阶实验,测试不同电流和离子气流量条件下,电弧电压、熔敷金属温度与电流的关系曲线。

4) 双丝 GMAW 双电源脉冲协同模式分析:该教学实验主要是进行不锈钢双丝 GMAW 焊接时,测量双丝 GMAW 焊接时的焊接电流和电压波形,分析脉冲波形参数对熔滴过渡的影响和双丝协同的波形控制原理。

5) GTAW 电弧跟踪控制测试与原理分析:该教学实验主要是针对非熔化极低碳钢焊接过程,设计不同工艺规范条件下,电弧弧长变化时,在线测量电弧电压、焊接电流和熔敷金属温度的变化特征,分析不同电弧的弧长特征等。

教学实验平台的应用和创新实验项目的实施,使得学生不但能掌握深入单丝 GMAW、双丝 GMAW、GTAW 和 PAW 四类焊接电弧的波形控制的原理,还能掌握焊接过程参数测试的新型测量方法。并进一步引导学生利用跨学科的新技术和新方法解决问题的能力,培养学生自主创新意识和科学思维。有效提升了学生对现代科学知识的应用与创新实践能力,为新工科创新人才的培养提供了支撑。

6 结束语

本文设计的多电弧焊接过程参数监测教学实验平台,通过全新开发实验项目的教学实践,旨在让焊接方向的学生掌握不同焊接电弧的特征、

熔滴过渡模式的实现方法、典型波形的控制原理、熔敷金属温度的测量方法、焊接电弧稳定性的评价方法等,从而使得学生在学习传统理论实践能力的同时,提升学生新技术的应用实践能力。同时本实验平台采用触屏计算机进行自行检测,并采用软件自动进行焊接过程参数的智能评估,提供工艺过程多种信号的评价信息,从而使得传统的课程教学实验项目具有智能的内涵,有效提升了学生对现代科学知识的应用与创新实践能力,为新工科创新人才的培养提供了支撑。

参考文献

- [1] 教育部高等教育司.关于开展新工科研究与实践的通知[EB/OL].(2017-2-20)[2018-5-10].http://www.moe.edu.cn/s78/A08/A08_gggs/A08_sjhj/201702/t20170223_297158.html.
- [2] 王忠辉,李艳红,范浩军.以培养新工科人才为目标的综合教学实验探索[J].实验技术与管理,2018,35(10):177-180.
- [3] 叶回春,沈链娟.当前先进制造技术下的工程实践教学研究[J].实验技术与管理,2018,35(4):37-40.
- [4] 孙晶,崔岩,王德伦,等.新工科背景下拔尖创新人才培养的工程融合式课程体系建设[J].高教学刊,2018(19):33-35.
- [5] 谢芋江,黄本生,周培生,等.新工科背景下焊接专业人才培养模式探索[J].高等教育,2018,4(20):189.
- [6] 管晓光,李柏茹,王永东,等.适应高级应用型人才培养的《弧焊电源》教学改革与尝试[J].电焊机,2016,46(6):128-130.
- [7] 李军,刘梅冬,曾亦可,等.非接触式红外测温的研究[J].压电与声光,2001,23(3):202-205.
- [8] 曾强,舒芳誉,李清华.红外测温仪——工作原理及误差分析[J].传感器世界,2007,13(2):32-35.
- [9] 展桂荣,李秋菊,张怀伟,等.TIG 焊电弧参数数据采集器防护设计[J].电焊机,2011,41(9):89-91.
- [10] 韩二阳,韩旭,吕其兵.基于LabVIEW的焊接参数管理系统[J].电焊机,2016,46(12):26-29.
- [11] 韩喆.基于LabVIEW的CO₂焊接工艺参数优化[J].电焊机,2014,44(1):81-83.
- [12] 郭勇,李志勇,赵洪志,等.基于LabVIEW的焊接过程多信息分析平台[J].电焊机,2012,42(4):18-22.
- [13] 黎文航,杨峰,王加友.基于LabVIEW的虚拟仪器在焊接中的应用[J].焊接,2009(12):54-57.
- [14] 郭静,韩永全,洪海涛,等.基于LabVIEW的VPPA焊接信号采集分析系统[J].电焊机,2017,44(10):44-47.

编辑 钟晓