

变极性等离子弧焊接系统的研制

厉克勤 沈江红 谢峰 胡明臣 张凌云

(航天材料及工艺研究所 北京 100076)

文 摘 主要介绍了所研制的变极性等离子弧焊接系统,包括:主弧电源、维弧电源、等离子焊枪、电源配套系统以及计算机控制系统等,对系统的设计和关键技术突破作了较为详细的阐述。采用该系统焊接了4 mm、5 mm、12 mm厚铝合金试片和5 mm厚筒形结构件,焊缝内部质量符合QJ2698—95中I级接头要求,气孔符合MIL—STD—2219标准。

关键词 变极性等离子弧焊,焊接系统,铝合金

Development of Variable Polarity Plasma Arc Welding Equipment

Li Keqin Shen Jianghong Xie Feng Hu Mingchen Zhang Lingyun

(Aerospace Research Institute of Materials and Processing Technology Beijing 100076)

Abstract A variable polarity plasma arc welding (VPPA) equipment including main arc power source, pilot arc power source, VPPA torch, auxiliary system and computer control system, is developed and introduced. Design of the equipment and some know-hows are also stated in detail. A series of aluminum alloy plates with thickness of 4 mm, 5 mm, and 12 mm and cylinder work pieces with thickness of 5 mm are welded with the equipment, the inner quality of the weld is fit to QJ2698-95 Grade I and MIL-STD-2219 standard.

Key words Variable polarity plasma arc welding, Welding equipment, Aluminum alloy

1 前言

目前,国防工业中大量构件需采用铝合金焊接工艺。例如,航天各种型号的箭、弹体铝合金贮箱、铝合金发射筒、飞船铝合金壳体的焊接;飞机及其它武器的铝合金油箱焊接;先进轻型坦克的铝合金轮毂焊接;大型电站铝合金开关壳体、铝合金压力容器的焊接等等。我国对中厚壁铝合金构件的焊接主要采用交流钨极氩弧焊,存在的主要问题是:(1)焊缝气孔超差严重,常因气孔超差进行补焊,补焊后易产生应力集中和变形超差,影响产品质量的稳定性;(2)适应不了我国新型号发展的需求,新型号中铝合

金构件结构更加复杂,焊接区厚度不断增大,对焊接质量要求更高。

变极性等离子弧焊接方法(VPPA)与钨极(TIG)或熔化极(MIG)惰性气体保护焊相比,具有能量集中、电弧挺度大、一次穿透深度大、焊后变形小等特点。通过小孔立焊焊接工艺可消除气孔等焊接缺陷,实现“无缺陷”焊接。因此,采用VPPA焊接方法可较好地解决铝合金构件的焊接问题。

从上世纪六、七十年代美国就开始进行变极性等离子焊接设备的研制工作。到80年代中后期,美国的某些公司如Hobart公司、Pulsweld公司等已有

收稿日期:2002-07-19

厉克勤,1963年出生,研究员,主要从事焊接设备及其工艺的研究工作
宇航材料工艺 2002年 第6期

— 39 —

变极性等离子焊接设备出售。美国宇航局马丁公司采用计算机控制的变极性等离子焊接设备焊接了 8 m 直径的铝合金航天飞机外贮箱的 6 400 m 焊缝,焊缝内部“无缺陷”;波音公司在“自由号空间站”项目中,采用变极性等离子焊接方法焊接了 2 080 m 长的铝合金焊缝,焊缝内部也“无缺陷”。美国航天飞机外贮箱的铝合金焊缝 90 % 将采用这种焊接方法^[1~7]。

国内,航天材料及工艺研究所较早就开始了变极性等离子弧焊接技术的研究,本文主要介绍的是我所研制的变极性等离子弧焊接系统。

2 系统组成

研制的变极性等离子弧焊接系统主要是由主弧电源、维弧电源、等离子焊枪、电源配套系统和计算机控制系统等几部分组成,该系统示意图如图 1 所示。

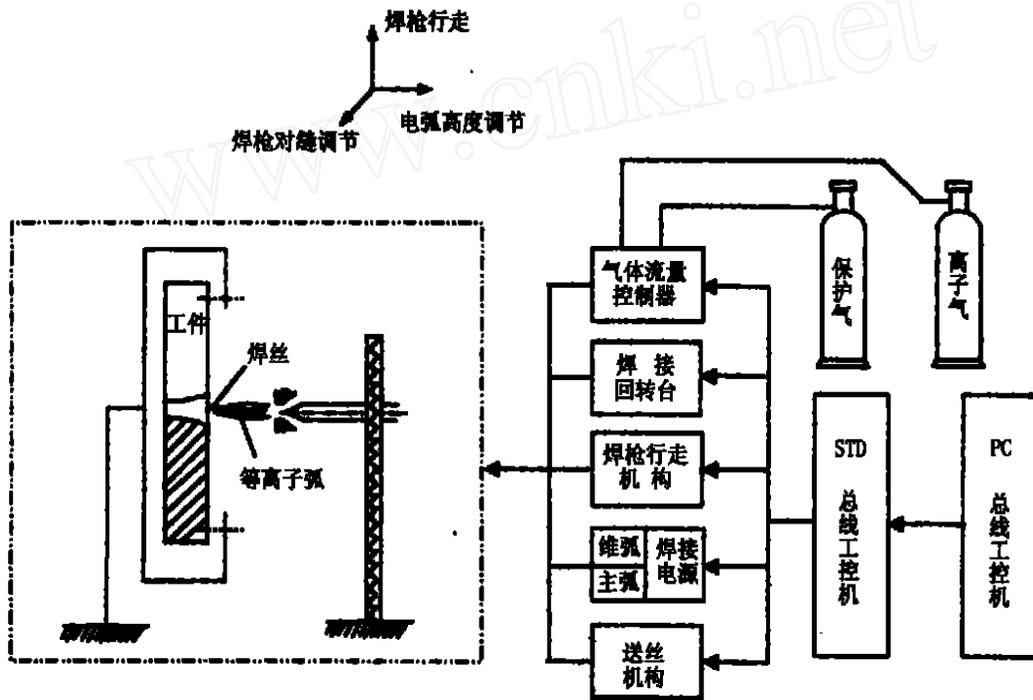


图 1 变极性等离子弧焊接系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of variable polarity plasma arc welding equipment

3 系统设计与关键技术突破

3.1 等离子焊枪

等离子焊枪的实物照片如图 2 所示,最大使用电流 400 A,其水、电、气的接线全部在焊枪的尾部。这种直筒式结构比传统的分支式结构缩小了焊枪直径,增加了焊枪的可达性。

等离子焊枪设计的关键在于枪的密封、绝缘、钨极冷却及对中等几个方面。与普通等离子焊枪相比,所研制的焊枪在这几方面均有突破。采用专用钨极装卡工具保证对中,经检测等离子焊枪对中精度可达 0.1 mm。



图 2 等离子焊枪

Fig. 2 VPPA torch

3.2 主弧电源和维弧电源

3.2.1 主弧电源

最大输出电流 400 A,交流频率 1 Hz ~ 100 Hz,正(负)半波通电时间比 0 ~ 100%,正向脉冲频率 1 Hz ~ 1 kHz,正向脉冲占空比 0 ~ 100%。

采用双逆变电源,一次逆变及二次逆变均采用全桥逆变方式。一次逆变器相当于一个可产生直流脉冲的电源,其输出可通过控制电路进行调制,产生出焊接所需波形。控制电路同时控制二次逆变器正反向交替导通,实现变极性控制。

主弧电源的设计重点在于大电流电源的可靠性以及焊接电流在 100 A 以下时反向引弧的稳定性。采用双逆变方案和 IGBT 大功率元件获得了 400 A 稳定的焊接电流输出。通过稳弧电路保证电源在 100 A 以下焊接时电弧的稳定性。

3.2.2 维弧电源

本系统采用晶体管直流电源作为维弧电源,输出电流 5 A ~ 35 A,采用高压引弧方法,避免高频引弧对控制电路和计算机系统的干扰。

维弧电源设计的技术关键在于高压引弧的防护。引弧的高压对控制电路和功率元件都是十分危险的,必须加以有效的防护,才能避免对维弧电源和主弧电源造成损坏。防护电路主要起到减弱、吸收

和消除高压的作用。

3.3 电源配套系统

电源配套系统主要包括:焊枪行走和机头调整机构、送丝机构、气体过滤装置、气体流量控制器和焊接回转台等几个部分。等离子焊枪通过行走机构上的夹紧装置固定在行走支架上,其上还固定有焊丝盘及送丝机构,焊枪连同送丝机构可实现三个方向的移动。

焊枪行走机构采用三相异步电动机驱动并配变频调速器及控制器,行程为 0 ~ 1 000 mm。送丝机构由一台 24 V 直流电机驱动,控制电路采用逆变方式,体积小、质量轻、性能稳定。采用流量控制器对离子气流量进行调节和显示,流量范围 0 ~ 5 L/min,精度为 $\pm 2\%$ 。焊接回转台采用 220 V 交流电机驱动并配有 WP—A 型调速器,最大回转直径 500 mm。

3.4 计算机控制系统

计算机控制系统主要要实现以下功能:(1)焊接参数设置;(2)焊接过程控制;(3)焊接参数实时采集、显示和记录;(4)故障报警、急停控制。本系统采用上、下位机结构,上、下位机之间采用 RS232C 串行通讯进行数据传输。整套计算机控制系统框图如图 3 所示。

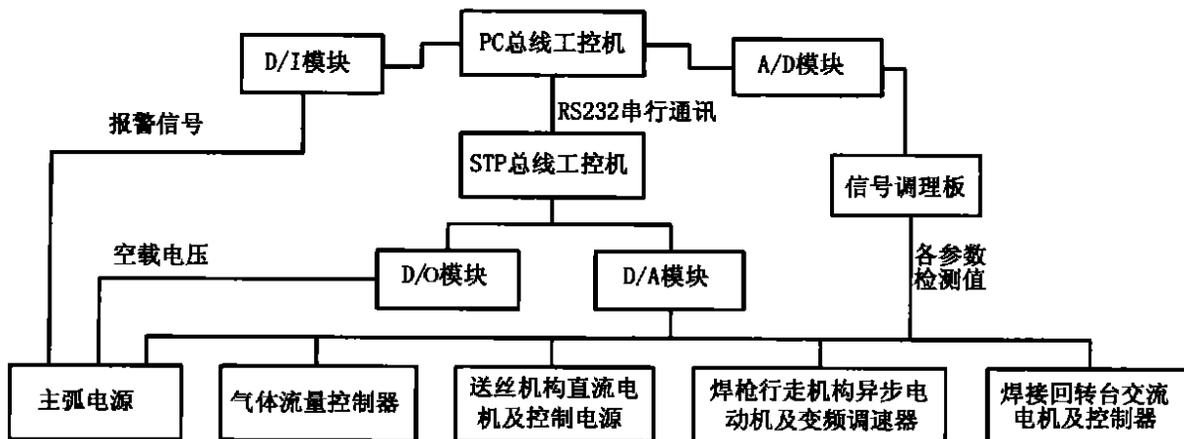


图 3 计算机控制系统框图

Fig. 3 Diagram of computer control system

上位机为 PC 总线 586 工控机,作为管理级通过控制界面实现控制功能,如焊接参数设置、采集数据并显示、水电气状态监测、过程控制等。下位机为 STD 总线工控机,配合上位机完成实际的控制工作,实现主弧电源、气体流量控制器、送丝机构、焊枪行

走机构及焊接回转台的计算机控制。

3.4.1 主弧电源的控制

控制原理如图 4 所示。计算机对主弧电源的控制主要是实现焊接电流参数的计算机给定、电流递增、电流衰减以及电流参数采集、显示和记录。

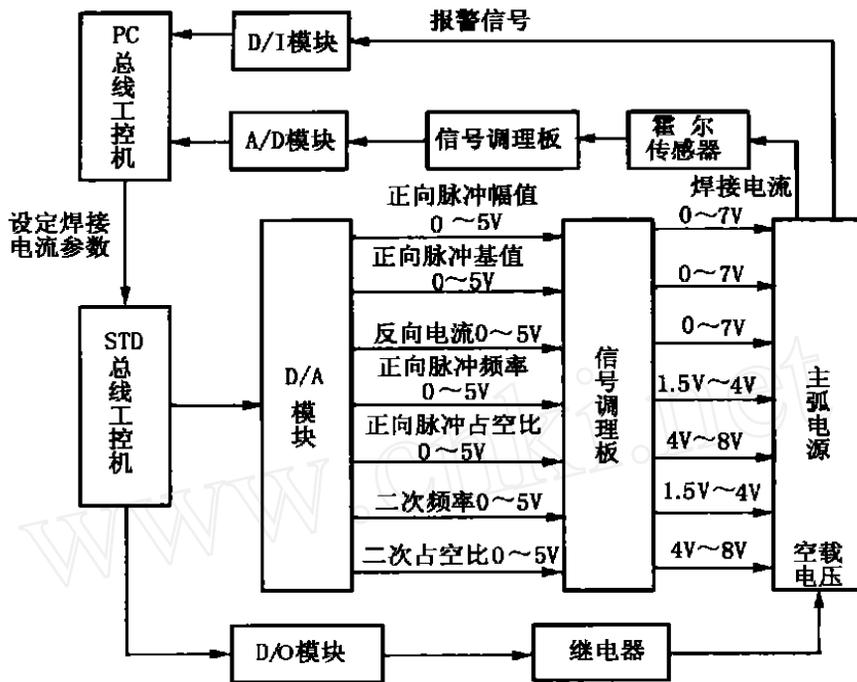


图4 主弧电源的计算机控制原理图

Fig. 4 Schematic diagram of computer control of main arc power source

3.4.2 电源配套系统的控制

控制原理如图5所示。焊枪行走机构、送丝机构、气体流量控制器和焊接回转台均有外设信号接口,控制面板上有手动/自动转换开关。手动时,可通过控制面板上的按钮和开关设置参数、控制启停,便于系统的调试和维修。自动时,通过上位机控制界面设置参数,下位机D/A模块输出一定的模拟电压,实现参数控制。焊接过程中上位机通过A/D模块实时采集数据并显示在控制界面上,同时保存于数据库表中。

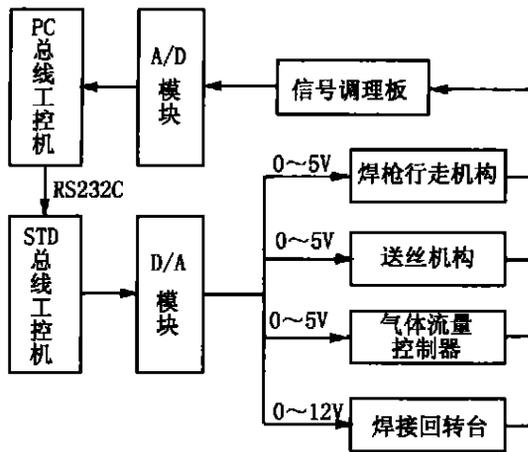


图5 电源配套系统的计算机控制原理图

Fig. 5 Schematic diagram of computer control of auxiliary system

3.4.3 焊接过程控制及故障报警

焊接系统上电后,接通冷却水、离子气和保护气并引燃维弧,启动计算机控制程序,在控制界面上设置好焊接参数并按下“确认”按钮,准备开始焊接。按下“开始焊接”按钮,计算机开始按设定的参数控制焊接过程,包括:引燃主弧、参数递增、正常焊接、参数衰减及切断主弧。最后切断维弧,焊接过程结束。焊接过程中计算机定时检测主电路短路过流、无冷却水、无离子气等故障报警信号,出现异常,自动切断主弧并在控制界面上弹出错误提示对话框。同时焊接过程中,如果操作人员发现异常,也可按下“急停”按钮,计算机控制系统自动切断主弧并退出程序。

3.4.4 计算机控制系统抗干扰措施

为提高整个系统工作的可靠性和稳定性,必须解决计算机控制系统的抗干扰问题,这也是计算机控制系统设计的关键之一。本系统设计时主要采取了以下措施:(1)工控机采用抗干扰电源供电;(2)在可能引入干扰信号的薄弱环节进行过滤处理;(3)在干扰源周围加上屏蔽体并将屏蔽体一点接地;(4)机箱、机柜等外壳接地。通过采取以上措施,解决了计算机控制系统的抗干扰问题,整个系统在焊接现场工作稳定。

3.5 系统控制软件

(下转第54页)

从图5测试结果可以看出,当测试设备进入正常状态,4条实时测试曲线接近重合,说明膜层组织较均匀;类金刚石膜层的厚度约为500 nm;膜层的硬度约为55 GPa。

在本文所采用的技术条件下,可以看出采用电弧沉积法制备的类金刚石膜层质量及性能优异。

膜层的耐磨性好坏,可间接用纳米硬度、摩擦系数来表征,但最直接的检验方法是作耐磨性试验。本文所采用的方法是将摩擦副分别镀覆类金刚石膜和TiN膜,进行启停试验,启停5 000次后,类金刚石膜层未发生磨损。

利用干涉仪测量得到,镀覆前试样表面粗糙度为0.02 μm,镀覆后表面粗糙度为0.015 μm,镀膜后比镀膜前表面粗糙度略有改善,由此也从另一个侧面证明了类金刚石膜层的致密性。

4 结论

(1)采用真空磁过滤离子镀方法,通过控制工艺参数及工艺路线,可制备出性能优异的类金刚石薄

膜。

(2)由于阴极物质直接放电形成等离子体,使膜层内不含氢。

(3)由于过滤器的作用,使膜层组织结构致密;因而膜层粗糙度、硬度、耐磨性能良好。

(4)用Gauss拟合对XPS C1s峰进行分峰处理,计算出了SP³的相对含量为40.1%。

参考文献

- 1 王季陶,张卫,刘志杰.金刚石低压气相生长的热力学耦合模型.科学出版社,1998:7~22
- 2 Leung T Y,Man W F, Lim P K et al. Determination of the sp³/sp² ratio of a-C:H by XPS and XAES. Journal of Non-crystalline solids, 1999;254:156~160
- 3 Merel P,Tabbal M,Chaker M,Moisia S,Margot J. Direct evaluation of the sp³ content in diamond-like-carbon films by XPS. Applied Surface Science,1998;136:105~110
- 4 Diaz J, Paolicelli G, Ferrer S, Comin F. The analysis method of SP³ content in DLC. Phy. Rev.,1996;(B54):8 064

(编辑 马晓艳)

(上接第42页)

系统控制软件由上位机控制程序、STD工控机控制程序二部分组成。上位机控制程序以WINDOWS为操作平台,通过控制界面实现系统控制功能,如焊接参数设置、采集数据并显示、水电气状态检测及过程控制等。STD工控机控制程序用8086汇编语言编写,固化在EPROM中运行,实现主弧电源、气体流量控制器、送丝机构、焊枪行走机构及焊接回转台的计算机控制。

4 焊接工艺试验

用研制的系统焊接了4 mm、5 mm和12 mm厚铝合金试片及5 mm厚带有纵、环缝的筒形模拟件,焊接质量达到了QJ2698—95中I级接头要求,气孔符合ML—STD—2219标准,系统工作稳定可靠。

5 结论

(1)所研制的变极性等离子弧焊接系统工作稳定可靠,最大输出电流400 A,交流频率1 Hz~100 Hz,占空比0~100%,整套系统全部由计算机控制。

(2)解决了等离子焊枪的密封、冷却和绝缘问题;采用专用工具保证钨极对中精度达到0.1 mm。

(3)计算机控制系统采用上、下位机结构,操作人员通过上位机控制界面对焊接过程进行控制,控制过程简明、清晰、直观;采用屏蔽、旁路、接地和抗

干扰电源等措施解决了计算机控制系统抗干扰问题。

(4)用研制的系统焊接了4 mm、5 mm和12 mm厚铝合金试片,焊接了5 mm厚带有纵、环缝的筒形模拟件,焊接质量达到QJ2698—95中I级接头要求,气孔符合ML—STD—2219标准。

参考文献

- 1 Nunes A C. Variable polarity plasma arc welding in space shuttle external tank. Welding Journal, 1984; 63(9):27~35
- 2 Hung R J et al. Characteristics and performance of the variable polarity plasma arc welding process used in the space shuttle external tank. N92-13 431
- 3 Jaffery W S. Robotic variable polarity plasma arc (VPPA) welding. N93-25 605
- 4 Abdelmessih A N. Heat flow in variable polarity plasma arc welds. N93-17 280
- 5 Hung R L et al. The variable polarity plasma arc welding process: characteristics and performance. N92-12 279
- 6 Abdelmessih A N. Heat sink effects in variable polarity plasma arc welding. N92-15 851
- 7 Walsh P W. Examination of the physical processes associated with the keyhole region of variable polarity plasma arc welds in aluminium alloy 2219. N88-15 634

(编辑 任涛)