

法兰环缝局部真空电子束焊机的研制

刘志华 赵兵 雷学锋 赵青

(航天材料及工艺研究所 北京 100076)

魏昕 高云飞

(北京中科电气高技术公司 北京 100083)

文 摘 对所研制的法兰环缝局部真空电子束焊机作了简要介绍,对焊机的微机控制系统和电子枪极坐标行走的控制、二次电子焊缝对中、焊接轨迹的示教再现、真空系统和焊接工艺的微机控制等关键技术作了较为详细的阐述。通过焊接工艺试验,用法兰环缝局部真空电子束焊机焊接出了成形良好、焊缝内部质量符合 GB1718—93 级标准的铝合金法兰环缝典型工艺件。

关键词 法兰环缝,局部真空,电子束焊机,铝合金

Development of Local Vacuum Electron Beam Welding Machine for Flange Circumferential Weld

Liu Zhihua Zhao Bing Lei Xuefeng Zhao Qing

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

Wei Xin Gao Yunfei

(Beijing Zhong Ke Electric Corp. Beijing 100080)

Abstract A local vacuum electron beam welding machine is developed and simply introduced in this paper. The computer controlled system of the welding machine and some key technologies such as computer control of beam guns motion, secondary electron beam-weld alignment, teaching and reappearing of welding path, computer control of vacuum system and welding process are also stated in detail. Through process experiments, a typical aluminium alloy workpiece with flange circumferential weld was made by the welding machine. The formation of the weld is good and the inner quality is fit for GB1718-93 Grade standard.

Key words Flange circumferential weld, Local vacuum, Electron beam welding machine, Aluminium alloy

1 前言

航天飞行器铝合金燃料贮箱前、后底法兰以往在国内是采用手工氩弧焊工艺进行焊接,该焊接方法在焊接直径 3 m 以上的大型薄壁贮箱筒段时,由于氩弧焊焊接热输入量大,焊接变形和残余应力较大,此变形难以校正,且造成的应力集中也影响产品质量的稳定性。

真空电子束焊具有能量密度高、热输入量低、焊接变形小、焊接速度快等优势,在工业各领域尤其是国防工业中得到了广泛的应用,但对于一些大型构件如飞行器贮箱壳体等,如果采用真空电子束焊接工艺,则需要较大的真空室,其容积可达数百立方米,这种电子束焊接设备造价很高。而采用局部真空方法,只需较小的真空室即可将焊缝局部区域覆

收稿日期:2001-03-14

刘志华,1958 年出生,高级工程师,主要从事焊接设备及其工艺方面的研究工作

盖起来,节省了制造庞大真空室的成本。局部真空电子束焊接技术对燃料贮箱法兰的焊接及提高后续焊接质量能起到积极的作用。80年代,前苏联已进行了局部真空电子束焊接法兰环缝的研制工作,并成功地解决了能源号火箭铝合金燃料贮箱法兰环缝的焊接问题^[1]。本文着重介绍法兰环缝局部真空电子束焊机研制的关键技术。

2 焊机的功能及组成

研制的法兰环缝局部真空电子束焊机可以焊接 100 mm ~ 300 mm 的法兰环缝,具有电子枪极坐标行走和焊接工艺的微机控制功能,并能够进行二次电子焊缝对中及焊接轨迹的示教再现。焊机的实物照片见图 1,主要由电子枪、局部密封真空室、电子枪极坐标行走机构及驱动装置、电子枪位置坐标检测装置、真空抽气系统、电气控制系统、二次电子焊缝对中装置等几部分组成。



图 1 法兰环缝局部真空电子束焊机

Fig. 1 Local vacuum electron beam welding machine for flange circumferential weld

3 焊机的微机控制系统及关键技术的实现

法兰环缝局部真空电子束焊机控制系统的核心为两级控制的三个微机,如图 2 所示。

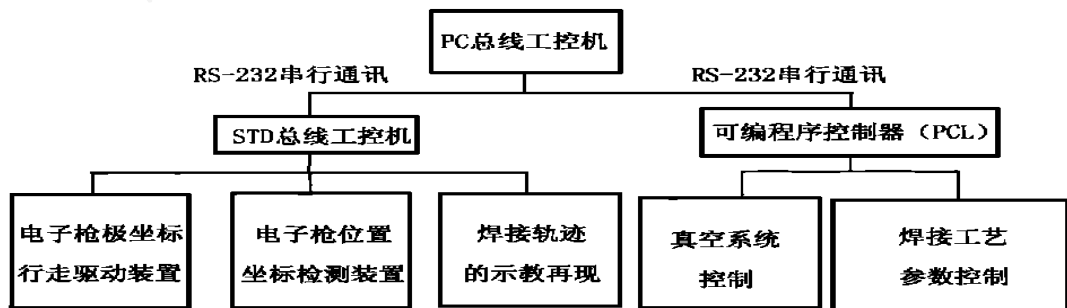


图 2 局部真空电子束焊机微机控制框图

Fig. 2 Diagram of the welding machine computer control

上位机为 PC 总线 586 工控机,作为管理级用于监控整个系统的状态,具备两个 RS-232 串行通讯口,分别与两个下位机(STD 总线工控机和 PLC)进行通讯。电子枪圆周运动驱动装置为交流伺服电机及驱动器。周向位置坐标检测装置为光码盘,内置于伺服电机并与电机轴同轴安装,检测电机轴的位置。电子枪径向直线运动驱动装置为步进电机及控制器。径向位置坐标检测装置为光栅尺和数显表。

此系统包含以下主要关键技术:

- (1) 电子枪极坐标行走的闭环控制;
- (2) 二次电子焊缝对中;

(3) 焊接轨迹的示教再现;

(4) 局部真空电子束焊机真空系统及焊接工艺参数(高压、束流、聚焦电流等)的控制。

3.1 电子枪极坐标行走的控制^[2]

控制原理如图 3 所示。上位 586 工控机提供控制界面,通过 RS-232 串行通讯给 STD 总线工控机发出指令,控制电子枪运动。由于具备了位置坐标检测装置,可以将电子枪位置坐标反馈回 STD 工控机,因此可以完成行走机构的闭环控制,实现电子枪位置的精确定位。

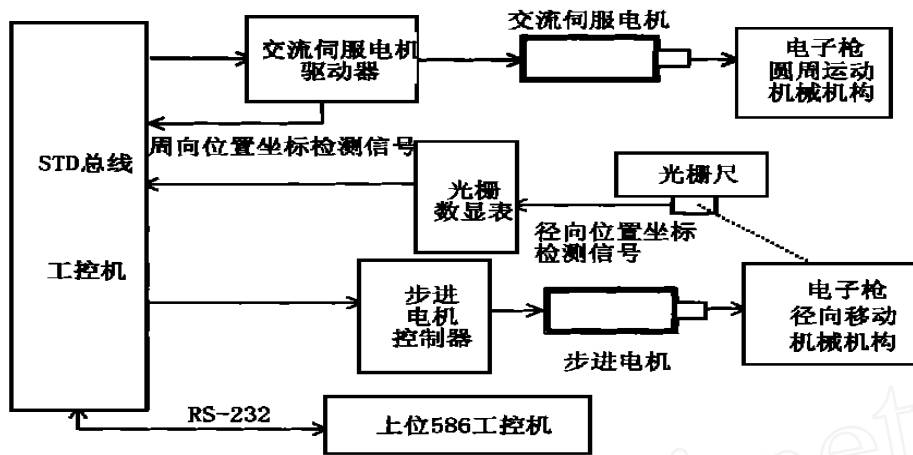


图3 电子枪极坐标行走微机控制原理图

Fig.3 Schematic diagram of computer control of the gun's polar coordinates motion

3.2 二次电子焊缝中对中技术^[3]

二次电子焊缝信号的产生原理如图4所示。电子束轰击工件时会产生二次电子流,二次电子流在工件表面比较大,在焊缝内部比较小。当电子束在工件表面垂直于焊缝方向扫描时会产生图5所示的焊缝信号。

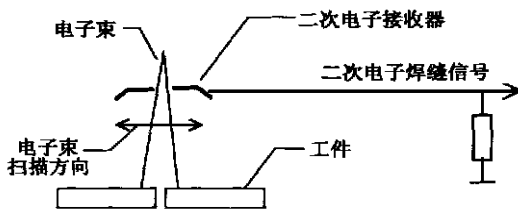


图4 二次电子焊缝信号产生原理

Fig.4 Principle of the generation of secondary electron weld signal

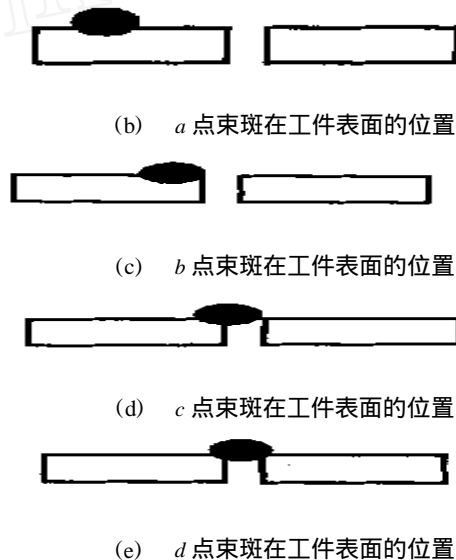
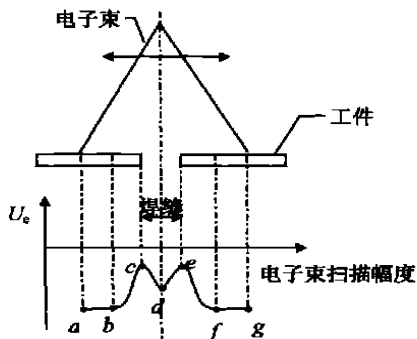


图5 电子束扫描焊缝时产生的焊缝信号以及束斑在工件表面的对应位置

Fig.5 Weld signal and position of beam fleck on workpiece surface when scanned by the beam



(a) 电子束扫描焊缝时产生的焊缝信号

当电子束垂直于焊缝方向进行扫描时,在工件表面 a 、 g 两点和焊缝边缘的 b 、 f 两点产生的二次电子流由于不受任何阻挡,因此接收器上接收到的较多,因此焊缝信号电压值 U_e 也较大;当电子束束斑到达 c 、 e 两点时,由于焊缝左或右对接面的阻挡,使到达接收器的二次电子流减少,因此 U_e 最小;当束斑到达焊缝中心时,由于焊缝对接面同时发射二次电子,即使互相阻挡,也比束斑到达 c 、 e 两点对接面单侧时到达接收器的二次电子多,因此 d

点的 U_e 值要大于 c 、 e 两点的 U_e 值。由上述分析可知, c 、 d 、 e 三点可以作为判断焊缝位置的特征点。当 d 点与电子束不扫描时的原始位置重合时, 我们可以认为电子束与焊缝已经对中。

二次电子焊缝对中装置的组成如图 6 所示。

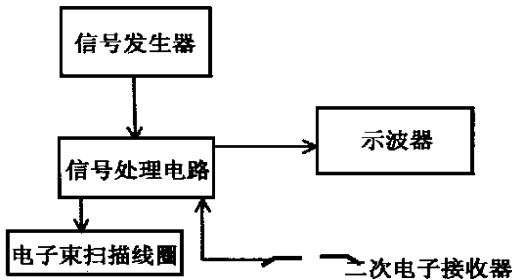
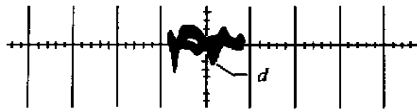


图 6 二次电子焊缝对中装置框图

Fig. 6 Diagram of the secondary electron beam-weld alignment setting

信号发生器为电子束扫描提供信号源, 能够产生正弦波、三角波等波形。扫描信号经信号处理电路送入电子枪内的扫描线圈, 使电子束产生扫描。二次电子接收器接收到的二次电子信号经过信号处理电路滤波、放大后送入示波器。实际获得的二次电子焊缝信号图象如图 7 所示。



(a) 电子束焊缝未对中时的二次电子像



(b) 电子束焊缝对中时的二次电子像

图 7 电子束对缝时二次电子实际图像
(“M”型波形即二次电子信号)

Fig. 7 Actual image of secondary electron weld signal

(the signal's shape is “M”)

试验表明, 通过二次电子焊缝对中装置进行焊缝对中时的精度 $< \pm 0.1 \text{ mm}$ 。

3.3 焊接轨迹的示教再现技术

用局部真空电子束焊机焊接法兰环缝时, 由于机械加工和装配等原因, 法兰环缝的中心与电子枪的回转中心可能存在偏差, 造成焊偏等焊接缺陷。为了弥补这种偏差, 我们采用示教的方法规划焊接轨迹, 并在焊接时重复再现。

首先将法兰环缝圆周分成几个示教点, 电子枪转动到各示教点的角度坐标时, 进行二次电子焊缝对中, 记忆对中时电子枪的径向位置坐标, 并计算电子枪在各示教点的径向位置偏差。上述对示教点分配、位置坐标的记忆和计算过程均由上位计算机完成。在焊接轨迹再现时, STD 工控机按照上位机的计算结果控制伺服电机和步进电机协同工作, 使电子枪按照示教的轨迹行走。

3.4 真空系统和焊接参数的微机控制技术

局部真空电子束焊机真空系统和焊接参数的微机控制原理如图 8 所示。

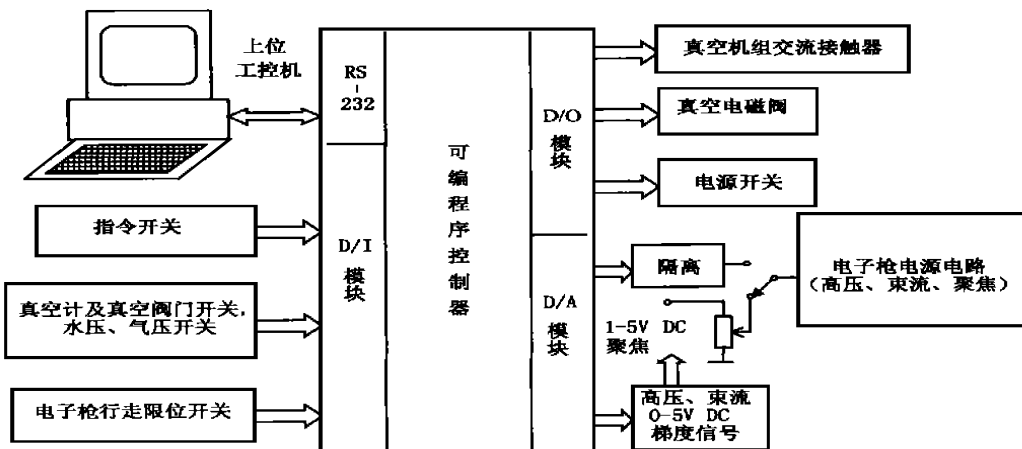


图 8 真空系统和焊接参数的微机控制原理图

Fig. 8 Schematic diagram of computer control of the vacuum system and welding parameters

在上位工控机和 PLC 的控制下,可以使真空系统的建立和焊接操作处于两种工作方式。

(1) 手动方式。通过控制台面板上的按钮及开关控制真空系统和电子枪电源开关,启停束流。这种方式只需 PLC 的参与。

(2) 微机方式。通过上位工控机控制真空系统,进行焊接参数设置,启停束流。这种方式需要上位工控机和 PLC 共同参与,上位机与 PLC 通过 RS—232 串行口通讯。

3.4.1 真空系统的控制

手动方式时,PLC 控制程序循环扫描真空控制指令,按照操作者的手动请求控制真空系统按照时序工作。微机方式时,PLC 控制程序不工作,上位工控机只是利用 PLC 开关量 I/O 模块监测真空系统状态。通过上位机控制界面还可以使单个机械泵和阀门动作,便于维修调试。

3.4.2 焊接参数的控制

焊接前需要调整高压、束流、聚焦电流等焊接参数。根据电子枪电源电路给定端信号给定方式的不同,可以将控制分为手动方式和微机方式。手动方式时,电子枪电源给定端信号由硬件电路本身电源提供,由可调电阻手动改变大小,与 PLC 无关;微机方式时,上位机通过控制界面设置焊接参数,控制 PLC D/A 模拟量输出模块按照所设置的参数大小向电子枪电源给定端输出模拟电压。

3.5 系统控制软件

系统控制软件由上位机控制程序、STD 工控机控制程序、PLC 控制程序三部分组成。上位机控制程序以 WINDOWS 为操作平台,按照功能要求分为主界面和若干子界面,实现整个系统的监测、控制。图 9 为真空系统监控界面。

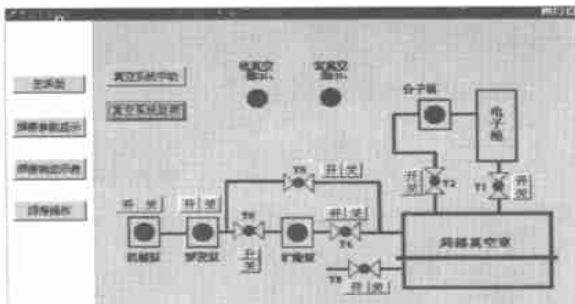


图 9 真空系统监控界面

Fig.9 Interface of vacuum system monitoring

STD 工控机控制程序实现电子枪行走的控制以及焊接轨迹的示教再现。PLC 控制程序实现真空系统逻辑控制、各级真空泵、阀门的开闭,其状态变化时的互锁保护以及焊接时序的逻辑控制。

4 焊机的测试

我们对焊机的真空度等指标及各项功能进行了测试,并通过工艺试验焊接出了铝合金法兰环缝典型工艺件。测试中发现,焊机能够焊接 100 mm ~ 300 mm 的法兰环缝,电子枪行走控制及示教再现等功能正常,局部真空室真空度 5×10^{-3} Pa,在电子枪运动时真空度仍能维持,而国外同类焊机的真空度为 1.33×10^{-2} Pa。焊接出的铝合金法兰环缝典型结构件焊缝成形良好,质量符合 GB1718—93 级标准要求。

5 结论

研制的法兰环缝局部真空电子束焊机为国内第一台,并申报了实用新型专利,专利申请号:00 263 177.6。通过研制工作得出如下结论:

(1) 所研制的法兰环缝局部真空电子束焊机可焊接 100 mm ~ 300 mm 法兰环缝,电子枪极坐标行走的微机控制使焊机具有柔性焊接能力;

(2) 局部真空室的真空度 5×10^{-3} Pa,高于国外同类指标 (1.33×10^{-2} Pa);

(3) 二次电子焊缝对中装置可以代替通常的光学观察实现焊前焊缝对中,对中精度 $< \pm 0.1$ mm;

(4) 焊缝轨迹示教再现功能使得电子枪回转中心与法兰环缝中心不重合时仍能够实现焊接过程中焊缝对中;

(5) 法兰环缝局部真空电子束焊机所焊接典型结构件成形良好、焊缝质量符合 GB1718—93 级标准要求。

参考文献

1 Yamamoto M, Nayama M, Kuri S, Takano G, Aoki S, Kimura M. Study on electron beam welding with local vacuum for low alloy steel. *Welding in the world*, 1993;31(1):41~48

2 孟传良,李秦伟. STD 总线工业控制机应用. 重庆:重庆大学出版社,1997

3 Carol M J et al. Automatic joint tracking for CNC-programmed electron beam welding. *Welding Journal*, 1985;64(8):34~38