

示教再现方法在真空电子束焊接时的应用

王希靖¹, 陈书锦¹, 李常锋¹, 何成旦²

(1. 甘肃工业大学, 兰州 730050; 2. 航天部 510 研究所, 兰州 730050)

摘 要: 叙述了用于真空电子束圆形焊缝的自动跟踪系统的设计和试验过程。在真空电子束焊接航天器件的圆形焊缝时, 由于工装等原因, 出现电子枪回转中心与焊缝圆心不同心现象。使用本控制系统, 用小束流电子束先对焊缝进行扫描, 利用电子束在焊缝上和在工作件上反射回来的二次电子数量不同而反映出焊缝的位置, 并由计算机实时记录整个圆形焊缝各点与束斑间的偏差值, 完成一个示教过程; 然后由计算机处理与分析所获取的数据并存储; 在焊接时利用处理后的偏差值在圆形焊缝相应位置不断修正电子枪的位置, 从而达到电子束斑点与焊缝对中的目的。

关键词: 电子束焊; 二次电子; 示教; 再现

中图分类号: TG456.3 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2002)01-81-04



王希靖

0 序 言

由于电子束聚焦后斑点半径小, 往往用于高精度的焊接中, 由于这种焊接过程因工艺的需要, 一般均在真空室内完成, 这都给电子束斑与焊缝隙的对中带来更高的要求, 焊接过程的精确性要求电子束斑不能偏离焊缝中心太远(在本研究中要求为 $<0.2\text{ mm}$), 焊接环境的真空性又要求在施焊过程中不允许工件的移动。所以, 研制一种电子束焊的焊缝自动跟踪系统在真空电子束焊中极为必要。

电子束焊接时, 由于电子束的固有特性, 它传输到工件上的能量除了大部分被工件吸收外, 还有少量电子被工件反射回来, 称为二次电子, 并且反射回来的二次电子大小随工件的表面形状改变而改变。因此, 当电子束分别在母材和坡口上时其反射的二次电子会有所不同, 即在母材上的反射量大, 在坡口上的反射量小甚至没有。利用这个变化量便可判断出焊缝的位置。这种利用二次电子作传感信号的焊缝跟踪系统可以充分利用现有设备而不需增加太多额外的机械电子设备。

利用反射二次电子信号的焊缝跟踪系统可分为两大类, 一类是实时跟踪式, 另一类是存贮记忆式。

对于实时跟踪式, 又包括人工控制与计算机控制两种, 人工控制往往是借助于示波器或监视器等显示设备同时显示电子束的扫描波形以及二次电子接收波形, 如图 1 所示, 电子束扫描波形往往用锯齿

波, 从图中可以看出, 图 1a 与图 1c 均表示电子束与焊缝未对中, 图 1b 表示已经对中, 焊接时, 先用极短的时间(如 0.5 s)用小电流扫描, 再用一定的时间用正常电流焊接, 由于扫描占用焊接时间很短, 焊接与观察者互相干扰不是很明显, 当发现有误差时, 人工手动调节焊枪位置使其对中即可。用计算机控制方案的原理与手动相似, 只是控制部分采用了计算机控制, 实时调节工作台位置^[1]。这种方案在直线焊缝中效果良好, 但是对于要分时控制电子束的束流大小, 涉及的都是高压器件, 设备较为昂贵。另外, 如随动灵敏度不够, 造成对中时修正时间过程过长, 会对焊接质量产生一定的影响。

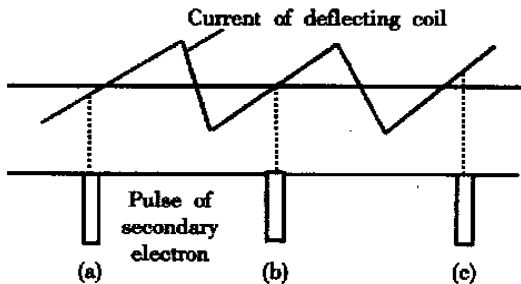


图 1 锯齿波电流与二次电子信号
Fig. 1 Scheme of relation between current of deflecting coil and pulse of secondary electron

存贮记忆式即示教再现式, 本文中所采用的就是这种控制方式, 其基本原理是先用小束流扫描焊道, 由计算机记录焊缝的位置并存储, 扫描完所有的被焊焊道后, 计算机对所获取的数据进行分析并处理; 然后, 在实际施焊的时候, 计算机可根据处理后

的数据对焊枪做调整,从而达到了焊缝自动跟踪的目的。用这种控制方法一方面要保证系统的快速性,保证能采集到可靠的焊缝位置信号;另一方面要保证系统的精度,因本系统是应用在航天器件的焊接中,要求跟踪误差小于 0.2 mm。

1 试验设备及控制系统的组成

1.1 试验设备

本试验采用 EBY1-60×134 型局部真空电子束焊机。具有圆形焊缝的工件置于真空室内的由伺服电机驱动系统控制的旋转工作台上,室内真空度为 1 Pa。电子枪可在步进电机驱动系统控制下做径向移动,以保证在与转台的配合下完成曲线焊缝的焊接。该机的主控元件—PLC 与本示教再现式焊缝跟踪控制系统相连接,以实现示教再现过程的协调动作过程。

1.2 控制系统

依据系统的应用要求,系统用 PC (Personal computer)机作为主控机,负责数据的采集、分析及系统的控制,数据采集部分由自制的数据采集卡及信号处理电路等组成(如图 2 所示)。

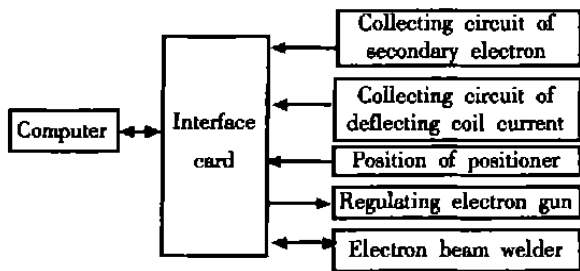


图 2 系统组成

Fig. 2 Construction of system

1.2.1 信号处理电路

信号处理电路主要包括二次电子信号采集电路、偏转线圈电流的采集电路、转台位置记录电路及各种信号的电平转换、隔离、整形等电路。

(1) 二次电子的信号采集电路

二次电子收集电路由二次电子收集板、脉冲整形电路及电平转换电路所组成。二次电子收集板安装在真空室内的工件上方,并随电子枪的移动而移动。电子枪发射的电子束被工件反射回来的二次电子由二次电子收集板收集时,收集板与地存在电位差。当电子束受磁透镜作用而左右摆动时,在焊缝坡口和工件表面反射回来的二次电子数量不同,这种电子数量的变化被反映成电压信号,经过整形电路整形并转换成 TTL (Transistor-transistor logic)

电平以便与各种数字电路相接。

(2) 电子枪偏转线圈电流的采集电路

要依据二次电子来判断、寻找焊缝,必须让电子束能在覆盖焊缝中心线两侧的一定范围内进行扫描。当磁透镜偏转线圈通以一定频率的锯齿波等周期性变化的电流时,电子束斑就在一定的摆幅范围内做左右摆动。在电子枪距工件高度一定的前提下,偏转线圈电流 I 与束斑偏距 e 成比例关系。用霍尔电流传感器将电流信号转换为电压信号,以供 A/D 转换使用。

1.2.2 计算机接口卡

计算机接口卡是本系统的核心部分,它连接着计算机与外部各种电路,担负着检测示教过程中的电子枪偏转线圈的锯齿波电流值和转台位置信号,接收外部各种控制信号与行程开关的限位信号等,以及焊接过程中对电子枪径向移动的步进电机进行控制。

2 软件的组成及原理

本控制系统的软件主要由三个部分组成,即示教、数据分析及处理、焊接控制部分。

2.1 示教部分

示教控制部分主要是完成对二次电子的检测,程序的工作流程如图 3 所示。首先使焊机启动并以小束流扫描工件,同时将转台置于起始位,以作为圆形焊缝的起始点。然后由步进电机驱动焊枪做径向运动,当电子束斑一旦到达焊缝时,在二次电子检测回路出现负脉冲,此时立即停止焊枪移动,即完成了焊枪中心与焊缝起始点的对中。而后使转台转动,电子束斑摆动,当有二次电子变化脉冲时读取此时偏转线圈电流值以及此时转台相对于起始点的位置信号,得到焊缝上任一点的焊缝中心与焊枪新的偏距。

2.2 数据分析及处理部分

数据分析及处理主要是把示教后所采集的数据进行处理,去掉一些采集过程中由于误差或干扰引起的各种错误信号,同时对数据进行曲线模拟分析,即确定这些数据是否能组成一个圆(对圆形焊缝),如不是一个圆,则提示本次示教没有得到正常的结果,应重新采集数据;如是一个圆,则再分析该圆上点的密集程度,如太稀疏(往往由处理时去除的点太多而引起),则应插补上相应的一些点来补足。

2.3 焊接控制部分

焊接控制部分主要是在焊接过程中利用示教过

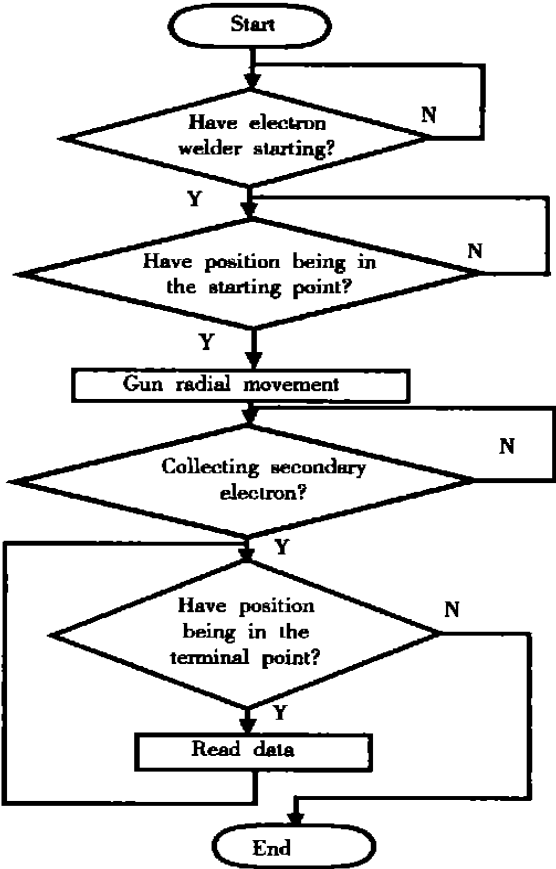


图 3 示教流程图
Fig. 3 Teaching flow chart

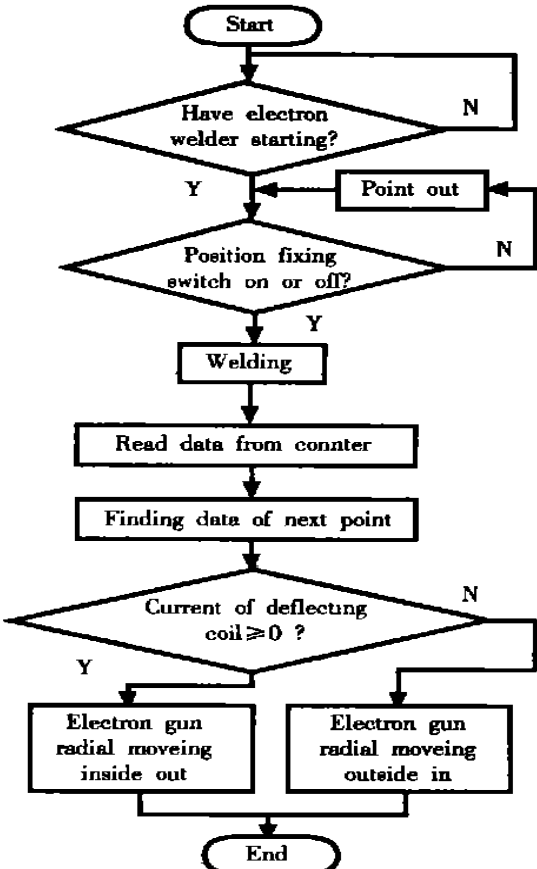


图 4 焊接流程图
Fig. 4 Welding flow chart

程中采集的电子枪运动中心与焊缝的偏差值, 在电子束斑不摆动情况下, 在圆形焊缝的不同位置不断调整焊枪位置, 从而使电子束斑能准确落到焊缝上。程序流程图如图 4 所示。

3 试验结果

3.1 二次电子信号的采集

在示教过程中, 当二次电子信号出现时, 就读一次偏转线圈的电流值和此时的转台位置值, 即得到焊缝上的一个点。当在整个焊缝上得到足够多的点时, 在数据处理时拟合的曲线才能真实反映焊缝形状。在本研究中, 焊缝直径为 $\phi 300\text{ mm}$, 根据误差必须小于 0.2 mm 的要求, 在整条焊缝上采集到的点至少在 $1\ 000$ 以上。由于二次电子的采集是在处于高频高压环境中的真空室内进行, 各种干扰不可避免, 但又因为实际偏差值不可能太大, 所以采用设阈值的方法可有效地获取真实的二次电子信号, 同时也将一些有用信号丢弃, 致使得到的二次电子信号数量减少。本研究中采用高速 A/D 转换芯片可得到 $20\ 000$ 点以上。

3.2 偏移量与数字量的关系

各种物理量有不同的单位和数值。这些物理量经过 A/D 转换后变成一系列数字量, 且数字量的变化范围是由 A/D 转换器的位数决定的。在本设计中, 电子束的扫描范围由电子枪偏转线圈的励磁电流决定(波形为锯齿波), 其值为 $-50 \sim +50\text{ mm}$, 与之相对应的偏转线圈电流采集电路的模拟输出电压是 $0 \sim +5\text{ V}$, 用 12 位的 A/D 转换器转换成数字量值为 $0 \sim 4\ 095$, 所以偏移量 $e = -50 + X100/4\ 095\text{ mm}$ 。

3.3 采样数据的数字滤波

由于电子束焊的焊接环境比较恶劣, 干扰源较多, 为了减少对采样数据的干扰, 提高系统的性能, 在进行数据处理之前, 先要对数据进行滤波处理。本设计采用复合滤波法。其原理可用下式表示

若 $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n (3 \leq n \leq 4)$,
则 $y = (x_2 + x_3 + \dots + x_{n-1}) / (n - 2)$ 。

从以上公式可看出, 复合滤波法兼容了算术平均值法和中值滤波法的优点。它既可以去掉脉冲干扰, 又可对采样值进行平滑处理, 提高了数据处理质量。

3.4 跟踪误差

为了减小误差,在焊接过程中,当电子束斑在前一点时,计算机就调用后一点的偏差值,与电子枪的拖动电机——步进电机运动的当前值相比较,其差值作为步进电机在两点时间间隔内的运动距离,使其以不太高的速度完成该距离,避免了步进电机在高速时的丢步现象。从而可满足焊缝偏移量均小于 0.2 mm 的使用要求。

4 结 论

- (1)该系统设计合理,完全能满足电子束对航天器件环形焊缝焊接的要求。
- (2)该系统充分利用计算机的功能,使系统硬件组成简单,在不过多增加电子、机械设备的的前提下实

现了电子束对圆形焊缝的跟踪控制。
(3)运用示教、再现的方法,成功地进行了电子束对航天器件的焊接,其跟踪误差小于 0.2 mm。

参考文献:

[1] 沈世瑶. 焊接方法及设备[M] . 北京. 机械工业出版社, 1982. 49 ~ 78.

作者简介: 王希靖,男,1956 年出生,教授,全国焊接学会熔焊工艺及设备委员会委员。主要从事焊接设备及其自动化,焊接质量控制方面的研究工作,获得部(省)级科技进步二等奖 1 项,三等奖 6 项,发表论文 40 篇。

Email: gddl@gsut.edu.cn

(编辑:董卫国)

[上接第 75 页]

分布一定数量的铁素体,将会对其韧性有一定的贡献^[3]。由前面的组织分析可知,经过 900 ℃油淬加低温回火处理,接头的显微组织为回火马氏体加残余奥氏体。如果较软的残余奥氏体相能以适当的数量、适当形态和大小分布在硬的马氏体基体上,将会保证材料具有高强度的同时,不同程度地提高塑性和韧性。对此种钢采用超高温淬火,控制淬火温度及加热保温时间,使钢中的碳化物、合金元素充分溶入奥氏体中,又不使奥氏体晶粒长大,淬火后可获得组织细小均匀的板条马氏体加残余奥氏体组织,可以显著改善钢的强韧性^[4]。对于每种状态,焊缝处的 COD 值高于热影响区的 COD 值,说明焊缝的断裂韧度优于热影响区,由以上的分析可知,细化组织对于提高塑性和韧性是有效的。

4 结 论

- (1) 30CrMnSiNi2A 钢电子束焊接接头,在 900 ℃油淬后低温回火的焊后热处理状态下,焊缝和热影

响区组织为回火马氏体和残余奥氏体,焊缝组织比热影响区和母材组织细且均匀。

- (2) 30CrMnSiNi2A 钢电子束焊接接头必须经过热处理才能使用。在上述热处理状态下,接头和母材都可获得良好的力学性能,但接头的冲击韧度和断裂韧度值较低,焊缝的断裂韧度相对优于热影响区。

参考文献:

[1] BS 7448: part2: 1997, Method for determination of K_{IC} , critical CTOD and critical J values of welds in metallic material[S] .
[2] JB 4291—1986. 焊接接头裂纹张开位移(COD)试验方法[S] .
[3] 吕文生,徐世毅,苏清文,等. 30CrMnSiNi2A 钢亚温热处理组织与性能的研究[J] . 材料工程, 1988, (6): 7~11.
[4] 吕文生,徐世毅. 30CrMnSiA 和 30CrMnSiNi2A 钢超高温淬火组织与性能的研究[J] . 材料工程, 1996, (1): 20~22.

作者简介: 张 莉,女,1978 年 8 月出生,博士研究生。主要从事焊接结构强度及断裂方面的研究。发表论文 2 篇。

Email: Leof.zhang@eyou.com

(编辑:董卫国)