

步进式电弧螺柱焊枪及控制系统的研究

池 强¹, 张建勋¹, 付继飞², 张友权²

(1. 西安交通大学材料科学与工程学院, 710049, 西安; 2. 中冶集团建筑研究总院, 100088, 北京)

摘要: 在深入研究电弧螺柱焊过程及传统电弧螺柱焊枪的基础上, 提出了一种全新的设计思想, 以此研制开发了步进式电弧螺柱焊枪及其控制系统。焊枪的机械结构部分以步进电机为动力机构, 以螺旋传动装置为运动机构主体, 实现了电弧螺柱焊所需的螺柱运动过程; 控制系统以 MCS-51 单片机为主控元件, 实现了对焊枪及焊接过程的控制。螺柱提起高度、送下深度、提起和送下速度等焊接参数的设定由程序控制, 减少了人工调整的随机误差; 同传统电弧螺柱焊枪相比, 此焊枪的参数调节具有相互独立的特性, 送下深度可以在更大范围内调整。

关键词: 电弧螺柱焊; 电弧螺柱焊枪; 步进电机; 控制系统

中图分类号: TG453 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-987X(2004)05-0461-04

Study on Stepper Motor Arc Stud Welding Gun and Control System

Chi Qiang¹, Zhang Jianxun¹, Fu Jifei², Zhang Youquan²

(1. School of Material Science and Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 2. Central Research Institute of Building and Construction, MCC Group, Beijing 100088, China)

Abstract: A new design method was proposed via the investigation on the procedure of arc stud welding and traditional arc stud welding gun, hereby an arc stud welding gun driven by a stepper motor and its control system was developed. A stepper motor is taken as driver gear and a screw-driven device as running gear in the gun to realize the stud action procedure requested by arc stud welding. An MCS-51 single-chip-micro-computer is adopted as the main control component to realize the control of the stud gun and welding procedure. The setting of welding parameters, involving stud lifting height, stud sending depth, lifting and sending speed and so on, can be accomplished by program control, thus the artificial error is reduced. Compared with traditional arc stud welding gun, the above mentioned parameters can be adjusted independently, and the sending depth is allowed to vary within a wider range.

Keywords: arc stud welding; arc stud welding gun; stepper motor; control system

电弧螺柱焊是一种螺柱电弧焊接方法^[1], 最初的应用始于 1939 年^[2], 经过几十年的发展, 已取得了长足的进步。我国在 20 世纪 80 年代中期从国外引进此项技术, 现已在建筑、桥梁、造船、汽车制造、锅炉等行业得到了较为广泛的应用^[3~5]。在此焊接过程中, 螺柱(或类似的紧固件)和焊件的接触表面被在它们之间引燃的电弧加热并熔化, 然后快速挤

压在一起形成焊缝; 其中引弧、电弧燃烧时间和挤压过程是自动控制的。实现电弧螺柱焊接必须具备的设备有焊接电源、焊接控制器和电弧螺柱焊枪。

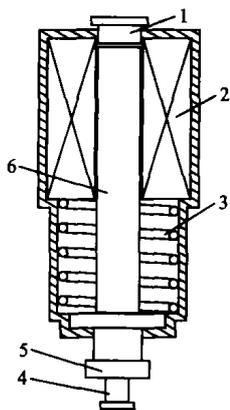
焊接电源提供焊接过程所需的能量, 目前主要采用晶闸管整流电源或逆变式焊接电源。焊接控制器控制焊枪动作及电源的通断时间、电流等参数, 由最初的简单定时装置逐步发展为微机控制系统。电

弧螺柱焊枪是焊接过程的直接执行机构,起着调节部分焊接参数、完成焊接过程的作用,焊枪性能的优劣对于焊接质量有很大的影响。

1 传统电弧螺柱焊枪的分析

1.1 焊枪结构及工作原理

传统电弧螺柱焊枪有手提式和固定式两种,其主要结构和工作原理是相同的。从电弧螺柱焊发明到现在,电弧螺柱焊枪的结构基本延续了最早的设计原理,改进的只是外形及性能。传统电弧螺柱焊枪



1:定铁心; 2:电磁线圈;
3:弹簧; 4:螺柱; 5:夹
具; 6:动铁心

图1 传统电弧螺柱
焊枪的结构

的一般结构如图1所示,焊枪的主体是电磁线圈和弹簧结构,在焊接过程中,螺柱运动的实现主要由线圈的通断电和弹簧的压缩、释放来完成。利用线圈弹簧式焊枪进行电弧螺柱焊接的过程如图2所示:①焊枪夹持螺柱置于工件上进行预压,弹簧压缩一定距离;②扣动焊枪开关,焊枪中的电磁线圈通电,使得动铁心产生向上的运动,螺柱也随之提起一定高度,与此同时,接通焊接电源,螺柱和工件间在焊接电流的作用

下起弧;③在提起高度位置保持一段时间,电弧充分燃烧,在工件上形成焊接熔池;④焊接预设时间到,电磁线圈断电,在弹簧弹力和动铁心自身重力的作用下,螺柱送下至熔池完成焊接。在焊接过程中,焊枪所完成的动作为:预压—提起引弧—保持—送下。

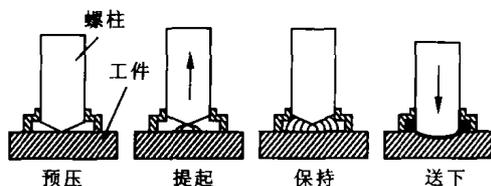


图2 电弧螺柱焊的焊接过程

1.2 焊枪参数调节的特点

在电弧螺柱焊过程中,螺柱提起高度、送下深度、提起速度和送下速度是比较重要的4个参数,对焊接过程及焊接质量有较大的影响。用传统线圈弹簧式电弧螺柱焊枪进行焊接时,对此4个参数的设置是通过调节焊枪机械结构实现的,焊枪本身的结构决定了调节的特点和不足。

(1)螺柱的提起高度由动铁心(即焊枪活动部

件)和定铁心之间预留的间隙决定,螺柱的送下深度则由焊接开始时的弹簧预压长度决定,这2个参数的设定通常是根据不同的焊接工艺,在焊接开始之前由手动调节焊枪实现的,参数的调节精度受焊枪本身精度和操作者两方面因素的影响,调节过程中有可能会出现人工调整的随机误差,而且焊枪的自动化操作难以实现。另外,提起高度和送下深度的不同设定值对提起速度和送下速度会有一定程度的影响,这就使得参数的设定需要综合考虑。

(2)合适的螺柱提起速度保证了焊接电弧的正常引燃,而送下速度在一定程度上影响焊接接头的形成质量,送下速度太快容易产生熔池金属飞溅,送下速度太慢则螺柱进入熔池的冲力减小,对熔池金属挤压不够,影响焊接质量。采用传统电弧螺柱焊枪进行焊接时,在螺柱提起时对电磁线圈通以一定的电流,在电磁力和弹簧阻力的共同作用下,使动铁心以一定的加速度向上提起,螺柱送下则主要由弹簧压缩产生的弹力和动铁心自身的重力作用产生向下的运动。为了调节螺柱的提起和送下速度,电弧螺柱焊枪的结构中一般都要配备阻尼机构,这就使焊枪的结构变得复杂。提起和送下速度的调节受多方面因素的影响,较难把握。

2 步进式电弧螺柱焊枪的设计

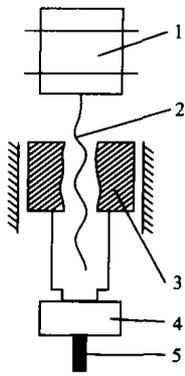
本文从电弧螺柱焊的实现过程出发,对焊枪结构原理进行了全新的设计,研制出步进式电弧螺柱焊枪及其控制系统。焊枪以步进电机带动螺旋传动装置完成电弧螺柱焊焊接过程各动作,焊枪及焊接过程由单片机系统控制。此焊枪可以通过程序控制实现螺柱提起高度、送下深度、提起和送下速度等参数的设定。

2.1 焊枪的机械结构

步进式电弧螺柱焊枪的机械结构原理如图3所示。焊枪可以看作由动力机构、运动机构以及固定保护机构3部分组成。

(1)焊枪的动力机构为步进电机。步进电机具有惯性小,不需制动装置,启动性能好,能频繁瞬间启动、倒转和停转等优点。步进电机由脉冲信号触发控制,它的转动角度由脉冲数量决定,转速只和脉冲频率有关,而和电压、电流等的大小及波动没有直接关系,误差不会积累。本设计采用型号为57BYGH803的混合型步进电机作为焊枪驱动电机。

(2)运动机构的主体是螺旋传动装置,即丝杠螺母传动装置。传动机构使得步进电机的角位移转化



1: 步进电机; 2: 丝杠;
3: 螺母; 4: 夹具;
5: 螺柱
图 3 步进式电弧螺柱
焊枪的机械结构
原理图

为上下方向的直线位移, 最终实现电弧螺柱焊焊接过程的运动要求. 丝杠与电机轴通过机械方式连接在一起, 接受来自步进电机的角位移; 在导向装置作用下, 传动螺母只作沿径向的运动, 通过电机正反转的改变, 传动螺母可完成上下直线运动. 传动螺母通过连接件与焊枪夹具连接, 夹具上的螺柱随之产生纵向的运动, 完成电弧螺柱焊接过程中的提起、送下等运动.

(3) 固定保护机构主要包括焊枪机架和电机轴保护装置(在原理图中没有具体标出).

2.2 焊枪控制系统

对焊枪的控制其实就是对步进电机的控制. 驱动步进电机转动有很多方法, 其中硬件方法可以采用诸如定时器(如 555)、三极管驱动、开关门芯片(如 74LS07)等. 本文为了更有效、更精确地控制步进电机运动, 同时考虑对焊接过程的控制, 决定采用以 MCS-51 单片机为主控元件的控制系统, 图 4 为其系统框图. 8751 单片机 P1 口产生矩形脉冲信号作为驱动步进电机的脉冲信号源, 电机的转向同样由 P1 口的输出信号控制. 利用软件对脉冲信号进行控制减少了硬件的使用, 简化了电路.

焊接时, 依据不同的焊接工艺参数设定脉冲频率, 控制螺柱的提起、送下速度. 螺柱运动速度与脉冲频率的关系式为

$$v = f\theta t / 360 \quad (1)$$

式中: f 为步进电机脉冲频率; θ 为步进电机步距角; t 为传动丝杠螺距. 焊枪的提起高度和送下深度则由脉冲数量决定, 关系式为

$$h = a\theta t / 360 \quad (2)$$

式中: a 为脉冲数量. 脉冲数量和脉冲频率在软件中都能表现为数字量, 故参数设置的精确度受人为因素影响较小, 而且通过程序控制实现参数设置提高了焊枪操作的自动化程度.

步进式电弧螺柱焊枪的结构及工作原理决定了螺柱提起高度、送下深度、提起和送下速度等参数的调节具有相对独立的特性. 从上面两式可以看出, 高度和速度的调节只和步进电机的转动控制量及传动

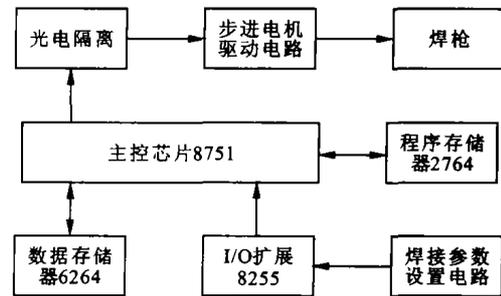


图 4 焊枪控制系统框图

丝杠的加工参数有关, 而各参数之间没有关系, 不会产生相互影响. 另外, 同传统电弧螺柱焊枪相比, 此焊枪的送下深度可以在传动装置允许的范围内进行更大程度的调整.

2.3 焊接过程的实现

实现对步进电机转动即焊枪运动的控制, 同时控制焊接电源的通断时间, 也就完成了基本焊接过程的控制. 对于新研制的焊枪, 没有相应的专用电源, 故采用合适的替代电源. 利用单片机系统对焊接电源进行操作控制, 需要特别注意的是弱电控制系统与焊接电源之间的连接保护问题, 以免受到强电系统的干扰、破坏, 影响正常的工作. 本文从经济、适用的角度出发, 设计了具有两级保护电路的电源控制系统, 系统框图如图 5 所示. 光电隔离电路确保单片机控制系统与外电路之间只有模拟信号的传递, 而没有任何直接的电路连接. 信号经放大后触发继电器开关的吸合, 继电器一方面起到保护隔离的作用, 同时起到控制电源通断的作用.

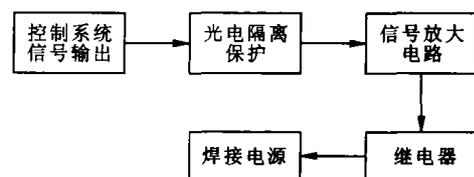


图 5 焊接电源控制系统框图

整个焊接控制回路的示意图如图 6 所示, 单片机系统对焊枪和焊接电源进行统一控制, 提高了焊接设备及过程的可控性, 同时也使得焊接过程的自动化程度有较大提高. 焊接过程的控制程序利用汇编语言开发, 具有很强的实时性. 基本焊接过程流程图如图 7 所示.

3 焊接试验

利用设计的步进式电弧螺柱焊枪及其控制系统进行焊接试验, 以验证焊枪及控制系统设计的合理性. 选用型号为 ZXG-300 的磁放大器式弧焊整流器

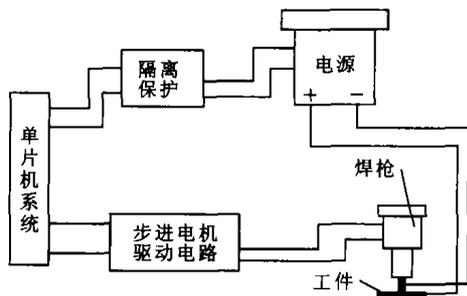


图6 焊接控制回路示意图

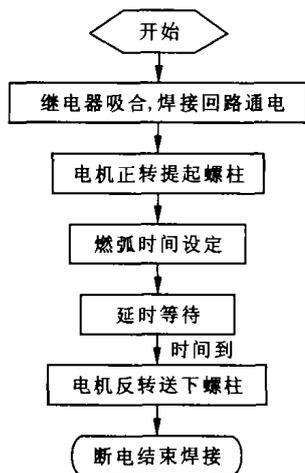


图7 焊接流程框图

作为焊接电源,该电源标明空载电压 75 V,具有陡降外特性,适合螺柱焊引弧及焊接要求.该电源本身不具备焊接过程调整焊接电流的功能,无法实现电弧螺柱焊过程电流可控,然而出于试验焊枪的目的,此电源可满足试验要求.

试验中所用螺柱及试件材料为 Q235 钢,螺柱直径为 5 mm.焊接燃弧时间设为 0.9 s,螺柱提起引弧高度为 1.9 mm,在焊接过程中,利用自制的采样系统采集焊接燃弧时间内的焊接电压变化情况,采样结果如图 8 所示.图中的空载电压为焊前实测所得,用来比较焊接开始后电压的变化.从图中可以看出,螺柱提起后顺利引燃,焊接电压比较稳定地保持在略低于 30 V 的水平,经过一段时间后,焊接电压出现减小现象,分析是由于螺柱开始熔化使得液态金属下垂,导致焊接电弧变短,焊接电压呈减小趋势,这 and 实际焊接过程相吻合.由于对焊接过程的影响因素很多,所以焊接电压的变化并非平滑,但是总的规律是正确的.

初步的焊接试验证明了步进式焊枪及其控制系

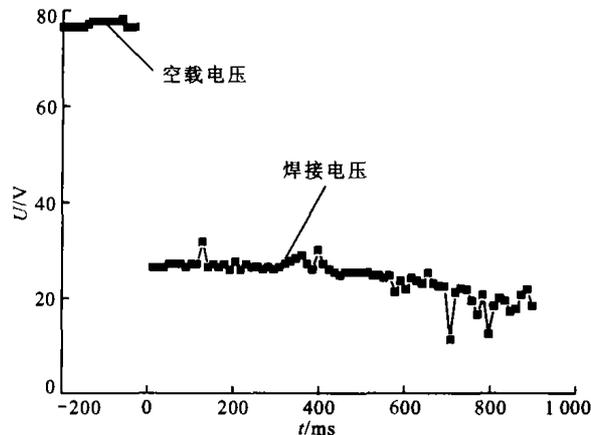


图8 采样电压图

统设计的合理性.对于焊枪设计及焊接工艺参数的优化、焊接质量控制等问题,还需做进一步的研究工作.

4 结 论

本文在深入研究电弧螺柱焊过程及传统电弧螺柱焊枪的基础上,提出并采用全新的设计思想,研制开发了步进式电弧螺柱焊枪及其控制系统.

(1)步进式电弧螺柱焊枪设计原理新颖,机械结构设计合理;采用以 MCS-51 单片机为主控元件的控制系统,提高了焊枪操作和焊接过程实现的自动化程度.

(2)螺柱提起高度、送下深度、提起和送下速度等参数的设置调节由程序控制,不需手动调整焊枪的机械结构,降低了人为因素导致的随机误差;相互独立的调节特性减小了各参数之间的影响.

参考文献:

- [1] Chambers H A. Principles and practices of stud welding[J]. PCI Journal, 2001, 46(5): 46~58.
- [2] Singleton R C. The growth of stud welding[J]. Welding Engineering, 1963, 48(7): 27~31.
- [3] 付继飞,张友权,马德志. 建筑工程中的螺柱焊接技术(1): 钢结构工程中螺柱焊接技术现状和展望[J]. 钢结构, 2002, 17(1): 56~60.
- [4] 梁成信,陈长礼. 螺柱焊技术在桥梁上的应用[J]. 焊接技术, 1997, 26(6): 10~11.
- [5] 杨金. 汽车业中应用的螺柱焊[J]. 焊接技术, 1997, 26(4): 40~41.

(编辑 葛赵青)