

电弧螺柱焊中实现螺柱的低速送进

池 强¹, 张建勋¹, 付继飞², 张友权²

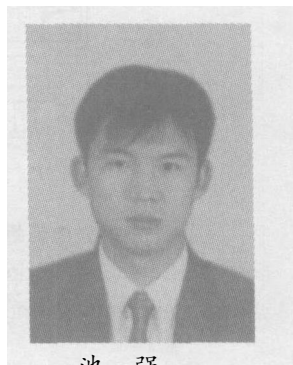
(1 西安交通大学 材料科学与工程学院 西安 710049)

(2 中冶集团 建筑研究总院 北京 100088)

摘 要: 螺柱送进速度是电弧螺柱焊中的一个重要参数。基于对工程中广泛应用的电磁式螺柱焊枪工作原理的深入分析, 提出螺柱低速送进的同时提供足够的挤压力可以实现电弧螺柱焊接, 研制开发了步进式电弧螺柱焊枪及其控制系统。作为实现螺柱低速送进的焊枪, 其动力机构为步进电机, 螺旋传动装置为运动机构主体, 保证螺柱低速送进时对接头处金属具有足够的挤压力。试验结果表明, 采用步进式电弧螺柱焊枪, 螺柱低速送进可以完成电弧螺柱焊过程; 弯曲试验结果表明螺柱焊接头能满足使用要求。

关键词: 电弧螺柱焊; 螺柱; 焊枪; 步进电机

中图分类号: TG453 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2005)05-23-04



池 强

0 序 言

电弧螺柱焊是一种高效、高质量的螺柱焊接方法, 最初的应用始于 1939 年的造船行业^[1], 现已广泛应用于包括建筑、汽车制造、炉窑等众多领域^[2-3]。根据焊接过程中焊接能量提供方式的不同, 电弧螺柱焊可以分为普通电弧螺柱焊和电容储能电弧螺柱焊两种基本方法^[4]。普通电弧螺柱焊电源是利用整流器件直接对电网电压进行整流, 获得所需的焊接能量; 而电容储能电弧螺柱焊则是利用电容等蓄电装置提供焊接过程所需的能量。

普通电弧螺柱焊的一个重要特征是焊接引弧采用拉弧方式, 故也可以称为拉弧式电弧螺柱焊。其基本原理是焊接过程中, 螺柱提起的同时导通焊接电流, 利用强大的电流在螺柱和工件之间产生焊接电弧, 使螺柱下端面和工件表面形成熔化层, 然后在外力作用下, 螺柱和工件快速挤压形成焊接接头。焊接过程主要包括提起引弧、电弧燃烧、螺柱送入熔池形成接头等步骤。电弧螺柱焊的焊接参数主要包括焊接能量输入参数、焊枪行为参数。焊枪行为参数包括螺柱提起高度、提起速度、送进深度和送进速度等。焊枪行为参数直接反映焊接过程螺柱的运动情况, 同时对焊接过程及焊接质量具有一定的影响作用, 螺柱提起高度和提起速度影响焊接引弧过程, 而螺柱送进深度和送进速度则关系到焊接接头最终

的质量。

作者深入研究螺柱送进速度, 采用最新研制的焊枪, 实现了电弧螺柱焊时的螺柱低速送进。

1 螺柱送进特点与实质

普通电弧螺柱焊焊接时间通常在 0~2 s 之间, 同一般的弧焊方法相比, 焊接时间较短。然而就其焊接过程来说, 具备了弧焊方法和压力焊方法的一些特点。焊接过程中, 焊接电弧使得螺柱下端熔化, 同时在工件表面形成一定大小的熔池, 这与普通的弧焊方法相似; 而焊接结束时螺柱送进过程又类似于压力焊方法中的“顶锻”过程, 区别只是接头处金属状态不同, 压力焊中接头处金属更多的处于固相状态, 而电弧螺柱焊则主要针对熔化金属。螺柱送进速度指的是螺柱进入工件上焊接熔池的速度, 速度的大小通常决定于焊枪的机械结构及焊前的参数设置。

1.1 电磁式焊枪螺柱送进速度调节的特点

目前, 工程中广泛应用的焊枪为电磁式电弧螺柱焊枪, 其大体的结构原理如图 1 所示。焊枪的主体是电磁线圈和弹簧结构, 焊接过程中, 螺柱运动的实现主要是由线圈的通断电和弹簧的压缩、释放来完成。

电磁式螺柱焊枪的机械结构决定了焊枪行为参数调节的特点, 其中包括对螺柱送进速度这一参数的调节。

(1) 螺柱送进速度的设置与焊枪的性能有关,

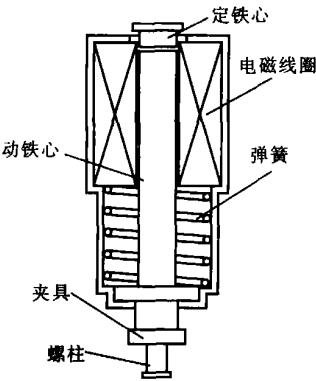


图 1 电磁式电弧螺柱焊枪结构原理
Fig 1 Structure principle of electromagnetic arc stud welding gun

另外，螺柱送进速度受其它焊枪行为参数设置的影响。如螺柱提起高度和螺柱送进深度的不同设置改变弹簧的压缩量，从而改变了弹簧弹力的大小，最终影响螺柱送进的速度。所以利用电磁式电弧螺柱焊枪焊接时，螺柱送进速度的设置需要综合考虑。

(2) 螺柱送进速度与螺柱进入熔池具有的冲力成正比关系。螺柱送进速度太大，容易产生熔池金属飞溅，在送进深度较大时，甚至会产生螺柱与工件撞击反弹的现象；送进速度太小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。

1.2 对螺柱送进速度要求的实质

利用电磁式焊枪进行焊接，理想的焊接过程，是要在不产生严重金属飞溅的前提下，具有较高的螺柱送进速度。采用较高的螺柱送进速度使螺柱在较短时间内进入熔池，减少外界空气侵入熔池的机会，同时保证在螺柱送进熔池前，熔化金属不会凝固；另外，较高的螺柱送进速度可以确保螺柱与工件间产生足够的挤压力。所以对螺柱送进速度要求的实质是保证螺柱在一定的时间内进入焊接熔池，同时为螺柱提供一个足够大的送进冲力。因此螺柱送进速度同时影响送进时间和接头挤压力两个因素。

通常情况下，螺柱的送进速度是随着螺柱直径的增大而减小的^[5]。当螺柱直径 $D \leq 14\text{ mm}$ 时，螺柱送进速度以 200 mm/s 左右为宜； $D > 14\text{ mm}$ 时，送进速度以 100 mm/s 左右为宜^[9]。实际焊接时，具体的数值需要根据实际焊接情况通过工艺试验确定。大直径螺柱采用较小的螺柱送进速度，一方面因为焊接熔池较大，熔化金属较多；另一方面大直径螺柱质量较大，运动中所具有的动量会变大，自然会增加螺柱进入熔池时的冲力。

2 螺柱低速送进的实现

2.1 实现螺柱低速送进的条件

基于电磁式电弧螺柱焊枪的焊接过程，在螺柱进入焊接熔池之前，螺柱送进速度基本上处于一个逐渐增大的过程。对于这样一个过程以及螺柱进入熔池的绝对速度而言，可以定义其为螺柱快速送进过程。

所谓螺柱低速送进，是指在焊接过程中，螺柱进入熔池的速度较低，此时所产生的冲力不足以对接头金属产生足够的挤压作用。因此要实现螺柱低速送进的电弧螺柱焊，必须有外力作用于螺柱运动方向。普通电磁式电弧螺柱焊枪的机械结构决定了其送进冲力与送进速度成正比，很难实现在低速状态下具有足够的挤压力。故研究螺柱低速送进，需要对电弧螺柱焊枪重新进行设计。

2.2 步进式电弧螺柱焊枪

作者从电弧螺柱焊实现过程机理出发，对焊枪结构原理进行全新的设计，研制出步进式电弧螺柱焊枪及其控制系统。焊枪主体采用步进电机及螺旋传动装置，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。焊枪的机械结构原理如图 2 所示，可以看作由动力机构、运动机构以及固定保护机构三部分组成。

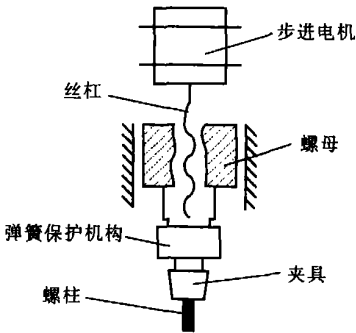


图 2 步进式电弧螺柱焊枪机械结构
Fig 2 Machine structure of stepping motor arc stud welding gun

(1) 焊枪动力机构为步进电机。步进电机具有惯性小，不须制动装置；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。

(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

化为螺柱运动方向的直线位移,最终实现电弧螺柱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,传动螺母只作轴向的直线运动,通过电机正反转的改变,传动螺母完成运动方向的转换。传动螺母通过连接件与焊枪夹具连接,夹具上的螺柱随传动螺母一起运动,完成电弧螺柱焊接过程中的提起、送进等动作。

(3) 固定保护机构主要包括弹簧保护机构、焊枪机架和电机轴保护装置。弹簧保护机构作用于焊接过程中,螺柱送进深度偏大的时候,把螺柱送进位移转化为弹簧压缩位移,以保护步进电机不受损坏;电机轴保护装置的主要作用是保护步进电机轴在轴向的受力为最小。焊枪机架及电机轴保护装置在原理图中没有给出标识。

步进式电弧螺柱焊枪及焊接过程由 MCS - 51 单片机系统控制,焊枪行为参数的设置由程序实现。焊接时,依据不同的焊接工艺参数设定步进电机脉冲频率、控制螺柱的提起、送进速度。螺柱运动速度 v 与脉冲频率 f 的关系式为

$$v=\frac{f\theta t}{360} \tag{1}$$

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进深度 h 则由脉冲数量决定,关系式为

$$h=\frac{a\theta t}{360} \tag{2}$$

式中: a 为脉冲数量。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、送进深度、提起和送进速度等焊枪行为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,步进式电弧螺柱焊枪不仅通过螺旋传动装置传递运动,同时传递螺柱运动方向的动力。力的大小由步进电机自身的扭矩及螺旋副的一些参数决定。如果不考虑装置摩擦力的影响,则有

$$Q=\frac{F}{\lg\lambda}, \tag{3}$$

$$F=\frac{2T}{d}, \tag{4}$$

$$\lg\lambda=\frac{np}{\pi d} \tag{5}$$

式中: Q 为螺柱送进方向具有的动力; F 为作用于丝杠中径处的圆周力; λ 为螺纹升角; T 为步进电机静转矩; d 为丝杠中径; n 为螺旋线数; p 为螺纹螺距。

由式 (3) ~ 式 (5) 得到

$$Q=\frac{2\pi T}{np}. \tag{6}$$

由式 (6) 可以粗略估算螺柱送进力 Q 的大小,如螺纹螺旋线数 $n=1$,螺距 $p=6\text{ mm}$,步进电机静转矩 $T=1\text{ N}\cdot\text{m}$ 时,则 Q 的数值大约为 $1\ 000\text{ N}$ 左右,只要摩擦力不是很大,则完全满足螺柱送入熔池所需的挤压力。选择矩频特性较好的步进电机,使电机在一定速度范围内具有较高的扭矩,即可保证螺柱低速送进所需的挤压力。

2 3 试验结果及讨论

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,研究螺柱低速送进在电弧螺柱焊中应用的可行性,螺柱送进速度约为 30 mm/s 左右。对于新研制的焊枪,没有专用的焊接电源与其匹配,出于试验的目的,故采用合适的电源作为替代电源。通常情况下,实现电弧螺柱焊过程,需要具有下降外特性的直流电源,试验中选用型号为 ZXG - 300 的磁放大器式弧焊整流器作为焊接电源,该电源标明空载电压 75 V ,具有陡降外特性,符合电弧螺柱焊引弧及焊接的要求。此电源不足之处在于电源本身不具备焊接过程中调整焊接电流的功能,无法实现电弧螺柱焊过程中电流可控。

试验中所用螺柱及试件材料为 Q235 钢,螺柱直径 $\phi 5\text{ mm}$,待焊顶端为平顶端面形式,不带引弧结;试件厚度 5 mm ,焊前对表面氧化皮、铁锈等杂质做简单处理。螺柱提起引弧高度为 1.7 mm ,焊接电流设定为此电源的最大额定电流,螺柱在提起高度的保持时间设定为 400 ms 左右,整个焊接过程没有采取任何保护形式。试验过程显示,通过程序控制步进式电弧螺柱焊枪及焊接电流的通断,顺利实现了电弧螺柱焊过程。

螺柱的焊接在工程中广泛应用,有些情况下螺柱的作用只是为了扩大散热面积、固紧涂层或保温层,此种场合对螺柱焊接接头的强度要求不高,接头强度的检验从简或根据实际情况制定。而对于有强度要求的电弧螺柱焊接头质量的评价,螺柱弯曲检验是国内外工程中广泛应用的质检方法。对于小直径的螺柱,可以用给螺柱上加套管的方法来进行弯曲试验^[7],如图 3 所示。接头弯曲的角度主要由螺柱直径大小和螺柱材料决定,直径越大,强度要求越高,则弯曲角要求越大;低碳钢和不锈钢的弯曲角一般要求达到 60° ,远远大于有色金属(如铜、铝及其合金)的弯曲角 15° ^[8]。图 4 所示为试验的弯曲接头,接头达到了一定的强度,以此可以证明螺柱低速送进在电弧螺柱焊中的应用是可行的。

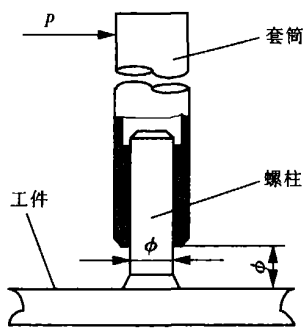


图 3 弯曲试验示意图

Fig. 3 Schematic diagram of bend test

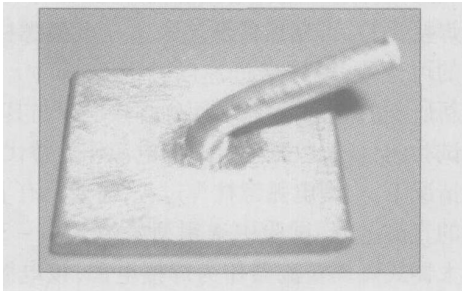


图 4 弯曲接头
Fig. 4 Bend joint

3 结 论

(1) 螺柱送进速度是影响电弧螺柱焊接头质量的一个重要参数。利用电磁式电弧螺柱焊枪进行焊接时,对螺柱送进速度要求的实质是保证螺柱在一定的时间内进入焊接熔池,同时为螺柱提供一个足够大的送进冲力。

(2) 研制出基于单片机系统控制的步进式电弧

螺柱焊枪。焊枪机械结构部分以步进电机为动力机构,螺旋传动装置为运动机构主体,实现电弧螺柱焊过程所需的螺柱运动过程。步进电机的原动力通过螺旋传动装置转化为螺柱运动方向的力。此焊枪可以实现螺柱低速送进时具有足够的挤压力。

(3) 试验证明步进式电弧螺柱焊枪可以顺利实现螺柱低速送进的焊接过程。对焊接接头进行弯曲试验,结果表明,接头具有较高的强度;同时也证明了螺柱低速送进在电弧螺柱焊中的应用是可行的。

参考文献:

[1] Singleton R C. The growth of stud welding[J]. Welding Engineering 1963 48(7): 27 - 31.

[2] Ramasamy Siva. Drawn arc stud welding crossing over from steel to aluminum[J]. Welding Journal 2000 79(1): 35 - 39

[3] 马福临. 螺柱焊在建筑钢结构中的应用及其新型焊机[J]. 钢结构, 2003 18(5): 64 - 66 70

[4] 池 强, 张建勋, 付继飞. 电弧螺柱焊技术的发展与应用[J]. 焊接技术, 2003 32(6): 18 - 20

[5] Shoup T E. Stud welding[J]. Welding Research Council Bulletin 1976 214: 1 - 22.

[6] 齐绍荣, 叶振忠, 王 芸. 影响电弧螺柱焊接质量的几个问题[J]. 焊接技术, 2002 31(4): 27 - 28

[7] Chambers H A. Principles and practices of stud welding[J]. PCI Journal 2001, 46(5): 46 - 58

[8] 柳咏枝. 螺柱焊焊接工艺[J]. 焊接技术, 2002 31(4): 20 - 21

作者简介: 池 强,男,1973年 11 月出生,博士研究生。主要从事电弧螺柱焊方法及焊接过程行为方面的研究工作,发表论文 4 篇。

Email chiqiang2004@sina.com

[上接第 16 页]

[2] Umekuni A, Masubuchi K. Usefulness of undematched welds for high strength steels[J]. Welding Journal 1997 76(7): 256 s - 263 s

[3] Zhu Liang, Chen Jianhong. Strength and deformation in HAZ softened welding joints[J]. Transactions of the China Welding Institution 2004 25(2): 61 - 65

朱 亮, 陈剑虹. 热影响区软化焊接接头的强度及变形[J]. 焊接学报 2004 25(2): 61 - 65

[4] Zhu Liang, Chen Jianhong. Characteristics of stress distribution and prediction of strength in heat affected zone softened welded joints[J]. Transactions of the China Welding Institution 2004 25(3): 48 - 51.

朱 亮, 陈剑虹. 热影响区软化焊接接头应力分布特征及强

度预测[J]. 焊接学报, 2004 25(3): 48 - 51.

[5] Cahoon J R, Broughton W H, Kutzak A R. The determination of yield strength from hardness measurements[J]. Metallurgical Transactions 1971, 2(7): 1979 - 1983

[6] Yurioka N. Prediction of strength of weld metal[A]. The 54th annual assembly of the international institute of welding[C]. IIV Doc K - 2026 - 2002

[7] 布赖恩 厄克林 F. 钢的组织与性能[M]. 北京: 科学出版社, 1999. 278 - 281.

作者简介: 朱 亮,男,1964年 12 月出生,教授。主要从事焊接工艺及设备、焊接结构强度及断裂的研究,发表论文 40 余篇。

Email zhu@hit.cn

chun²(1 Nanjing University of Aeronautics and Astronautics Nanjing 210016 China; 2 Harbin Welding Institute Harbin 150080 China). p20-22

Abstract Thermodynamic calculation and evaluation for SnAg-Cu-Ce lead-free solder alloy system were carried out by means of Chou model. The results showed that chemical balance attained in the system of Sn(rest) Ag(0.5wt%-4.5wt%) Cu(0.5wt%-4.5wt%) when the content of Ce was over 0.05wt%. The equivalent activity coefficient phenomenon of Sn-Ag and Cu emerged in the system when the content of Ce increased to about 0.6wt%. The results will provide theoretical guidance for designing chemical constitutions of new lead-free solders.

Keywords lead-free solders; Chou model; chemical balance; equivalent activity coefficient

Realization of slow stud plunge in arc stud welding CHI Qiang¹, ZHANG Jianxun¹, FU Jifei², ZHANG Youqian²(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). p23-26

Abstract Stud plunge speed is one of the important parameters in arc stud welding. Through the analysis of operating principle of electromagnetic welding gun which was widely employed in engineering, it was proposed that stud welding procedure could be realized even with a slower plunge speed, however an adequate extrusion force was needed simultaneously. An arc stud welding gun based on stepping motor and its control system were developed to accomplish the slow plunge arc stud welding. A stepping motor was taken as actuating unit and screw-driven device as moving unit to furnish the adequate extrusion force for melted metal during the course of the slow plunge. It was indicated from test results that the stepping arc stud welding gun could realize the welding process of slow stud plunge. Furthermore, the result of bend test proved that the joint was fit for service.

Key words arc stud welding; stud welding gun; stepping motor

Distortion research on projection welding of car door hinge - Part II residual stresses and distortions analysis of projection welding LUO Aihui, CHENG Guanlong, LAI Xinmin, ZHU Wenfeng (BMTG Mechanical and Power Engineering School Shanghai Jiaotong University Shanghai 200030 China). p27-30

Abstract According to the actual condition, a 2D finite element model had been built for the car door hinge and reinforced plate. Based on the result of temperature distribution by the process analysis of projection welding, the heat distortions and the distribution of residual stresses were gained by the analysis of heat stresses in the free constrain condition. Then the distortion tendency of car door hinge was analyzed in the end and coincident conclusions were gained.

Key words projection welding; finite element analysis; welding distortion; residual stresses

Image processing and tracing data collection for welding groove laser detection LIMingli, LIU Zhanmin (Beijing Institute of Petrochemical Technology Beijing 102617 China). p31-35

Abstract Laser line reflection images of welding groove in various lighting conditions were taken. These lighting conditions were darkness and fluorescent light in the night, natural light in room and under the sun light during daytime. Experiment results show that more light disturbances existed in images taken under lighting condition than that in darkness at night. But these disturbances could be cleared off by fitting up monochromatic filter and by using suitable disturbance removing methods. Information such as width and center location of the groove and the groove clearance could be obtained by optimization method of complex polygon. The accuracy of data collected could reach 0.125mm and met the needs of welding tracing.

Key words laser detection; image processing; complex polygon optimization method; welding tracing

Development of welding computing aided process planning system for Intranet KONG Jianzhou, WU Linglong, ZHANG Yong (Department of Material Science and Engineering Nanjing University of Science and Technology Nanjing 210094 China). p36-40

Abstract Through analyzing welding process planning, the system of computer welding aided process planning for Intranet was presented. The system was composed of C/S and B/S mixed distributed computer architecture in which welding process planning could be dealt with among all relating departments for enterprise. The OLE, ActiveX, ASP, Word macro and AutoCAD redevelopment technologies etc were utilized in the system developing and the functions of welding process documents computer aided management, welded joint parameter design, welding computer process aided planning and Word documents customizing for welding process were implemented in the system. In addition, remote authorized users could share the system information by Web technology.

Key words welding process planning; computing aided design; Intranet architecture

Application of artificial neural network method in prediction of bend strength of welded joint XU Peiquan¹, YANG Dexin², ZHAO Xiujuan², LU Fenggui¹, YAO Shun¹(1 Welding Engineering Institute Shanghai Jiaotong University Shanghai 200030 China; 2 College of Material Science and Engineering Dalian Jiaotong University Liaoning Dalian 116028 China). p41-45

Abstract Good WGC-30Cr45 steel TIG (tungsten inert gas) welded joint could be obtained using Ni-Fe-C alloy as filler metal. However