

⑦
251-257
连续行走脉冲 TIG 焊熔池谐振法熔透控制杨春利 何景山 林三宝 王其隆
(哈尔滨工业大学现代焊接生产技术国家重点实验室)

摘 要 熔池振荡频率与熔池尺寸之间存在良好对应关系,可以用于进行熔池尺寸检测及熔透控制,但在快速行走焊接时难度很大。本文在恒定直流之上叠加定频率正弦波电流做为脉冲焊接电流激励熔池,在连续行走焊接时,通过电弧电压检测熔池振荡即熔池尺寸。在脉冲电流作用期间,随着熔池尺寸的增长,当熔池自身固有振荡频率与焊接电流正弦波频率一致时,熔池产生谐振,从电弧电压中检测到谐振特征变化信号,该信号的强度、稳定性、重复性及与熔池尺寸的对应精度良好,优于目前已有的短时高值脉冲激励检测方法,用于进行焊接熔透控制取得了良好效果。

关键词: TIG 脉冲焊 熔池谐振 熔透控制

TIG 焊

焊接

0 序 言

TG444.74
TG409

焊接熔透控制是焊接技术一大研究方向,其目的是保证焊件可靠熔透、获得均匀一致的焊缝成形。此项工作的关键是如何提取反映熔透状态的信息。从焊缝背面提取熔透信号的方法由于传感器安装及工件结构原因,应用受到限制,从焊缝正面提取熔透信号的方法由于正面信息的非直接性及电弧干扰等,工作难度较大。目前已有的研究包括温度场检测、超声波检测、熔池图像检测、熔池振荡检测等,其中熔池振荡检测方法由于将检测信息直接与熔池尺寸相联系而倍受关注。该方法目前已采用两种途径,一种是利用短时高值脉冲激励熔池,而后提取熔池固有振荡频率的方法来检测焊接熔池尺寸^[1-4];另一种是变动电流作用下的熔池谐振检测方法^[5-7]。然而两种方法在连续行走焊接时都遇到了相当大的难点。高值脉冲激励方法由于行走电弧脉冲力作用点提前于熔池中心,熔池振荡困难,信号重复性差,目前只进行到 50~80mm/min 行走速度的实验室阶段研究。比较而言,熔池谐振检测方法在原理和实际应用方面更有优越性,已应用于实际焊接生产中,但为了解决行走焊接电弧力作用点提前于熔池中心的问题,采用的是步进行走方式^[6,7],焊接速度依然很慢。为此,本文在熔池谐振法熔透控制多年研究工作基础上,引入脉冲 TIG 焊措施,着重连续行走并提高焊接速度。研究结果表明这项工作是成功的,这为焊接熔透控制技术的深入发展创造了一条新途径。

1 试验原理及装置

1.1 试验原理

确定条件与确定尺寸下的焊接熔池具有确定的自身固有振荡频率,这已为多项研究所证实。熔池固有振荡频率与熔池尺寸成反比对应关系,检测到熔池固有振荡频率即检测到了熔池尺寸。该项研究涉及两个主要问题,一是采取何种措施诱发熔池整体振荡,能够反映出熔池的整体性质;一是如何精确地进行熔池振荡频率的检测,而上述两项又具有相关性,采取一种好的熔池激励方法对实现熔池振荡频率的精确检测无疑是有利的,同样亦有利于焊接熔透控制的实现。产生可利用的熔池振荡所需要的外部激励源可以有多种形式,在基值电流之上叠加定频率正弦波电流构成变动焊接电流(等同于变动电弧力)即为激励源的一种,此情况下的熔池振荡是以正弦波电流频率进行,熔池在某一时刻达到某一确定尺寸,其自身固有振荡频率与变动焊接电流中的正弦波频率一

致,熔池在此时刻产生谐振。熔池谐振通过电弧长度的变化表现在电弧电压上并出现熔池谐振特征信号,该信号的基本特征是电弧电压变动量幅值在熔池谐振点附近出现一定的增幅后迅速衰减,而后又逐渐恢复到熔池谐振前的水平,如图 1 所示^[5],此信号可用于判断现时刻熔池尺寸并进行反馈控制。该信号的一般性特点是:谐振信号强度大,优于自然振荡可检测信号水平;某一频率下的熔池谐振与该频率下的谐振熔池尺寸相对应,对熔池尺寸的检测精度高;信号的重复性远远高于短时高值脉冲激振方法;该信号更接近于实际应用等。

在定点电弧全熔透状态下,熔池基本呈圆柱形,熔池振荡规律性和重复性最好。然而在连续行走电弧条件下情况完全发生了变化,熔池不再是圆柱形而成为非标准的半水滴形。同时电弧力作用点偏离熔池中心处于熔池前部,熔池振荡困难,振荡信号的提取不可靠又有非唯一性,研究工作有很大难度。因此以往采取了步进行走焊接的方法来解决这个问题,但焊接速度受到制约。设想如果利用脉冲 TIG 焊的特点,在基值电流之上以定频率正弦波电流调制脉冲峰值电流作为低频脉冲焊电流新形式,以脉冲焊峰值电流期间电流值高、熔池快速形成为基准,在适当的焊接速度下,焊接熔池能够基本接近于圆柱形,则可以实现熔池的激振、谐振及检测。此项措施即具有目前广泛应用的脉冲 TIG 焊的特点,又可以实现连续行走焊接熔透检测与控制,无疑具有更良好的应用前景。

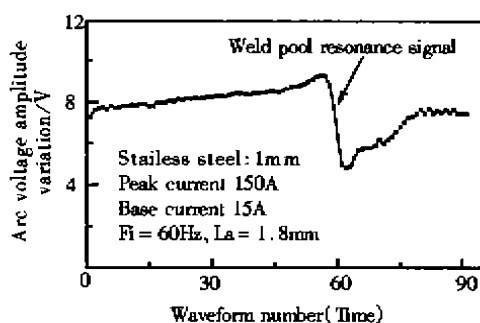


图 1 熔池谐振特征信号

Fig.1 Weld pool resonance phenomenon

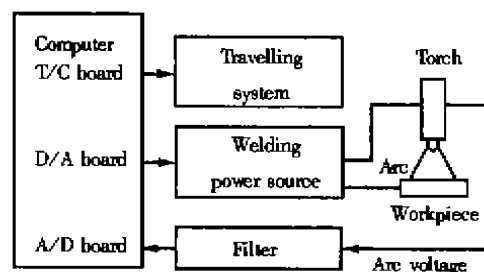


图 2 试验工作系统

Fig.2 Schematic representation of experimental system

1.2 试验装置

本项研究建立的工作系统如图 2 所示。焊接行走平台由步进电机驱动,连续行走,行走速度由计算机设定,通过定时计数器卡及驱动器驱动电机工作。晶体管焊接电源具有恒流外特性。计算机至焊接电源的给定信号由如下几部分组成:焊接基值电流和正弦波电流频率设定后由 D/A 卡给出,低频脉冲峰值时间和脉冲周期由定时计数器控制,给定信号与焊接电源之间的接口电路板产生正弦波波形并与基值叠加,而正弦波峰值即脉冲峰值电流亦由计算机设定与控制。

熔池振荡的检测可以有多种途径实现,比如弧光传感、激光测振、电弧电压传感等,而电弧电压传感由于无附加外部传感器无疑具有明显优势。试验采样电弧电压,经滤波、A/D 转换后由计算机进行数据采集,C 语言与宏汇编语言联合编程,定时采样频率为 2000Hz。

2 试验结果

2.1 连续行走熔池激振与熔池谐振信号采集

试验采用的焊接电流波形如图 3 所示。定义焊接基值电流 I_b ,脉冲峰值电流 I_p ,脉冲周期 T ,基值时间 t_b ,脉冲峰值时间 t_p ,脉冲调制正弦波频率 F_i ,焊接速度 V_w 。试验条件如表 1。

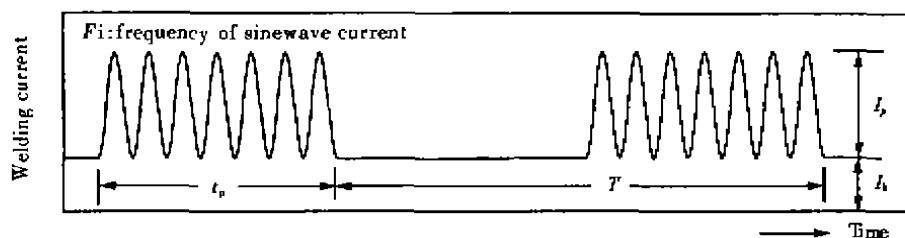


图 3 焊接电流波形示意图

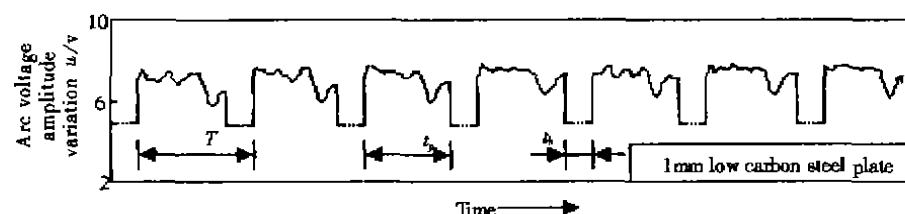
Fig. 3 Waveform of welding current

对表 1 选定试件,连续行走每次焊接 10 个脉冲点,试验得到电弧电压变动量幅值变化数据曲线如图 4 所示。各种材料及板厚所采用的焊接参数有差别,如各曲线图参数标注。

表 1 脉冲 TIG 焊试验条件

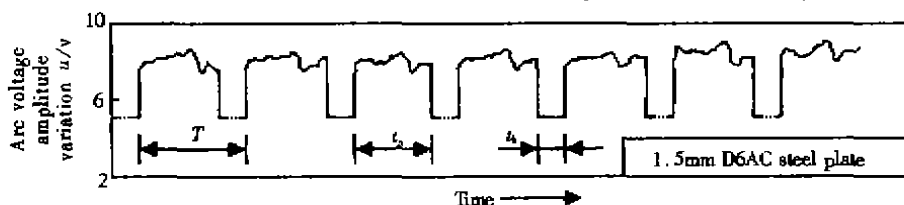
Table 1 Pulsed TIG welding experiments condition

Tungsten diameter:		φ3 2 mm	Argon flow:		15 L/min	Arc length:		2 mm
Plate thickness	1	1mm, 2mm low carbon steel plate						
	2	1.5mm 45NiCrMo1V (D6AC) steel plate						
	3	2.0mm 30CrMnSiA steel plate						



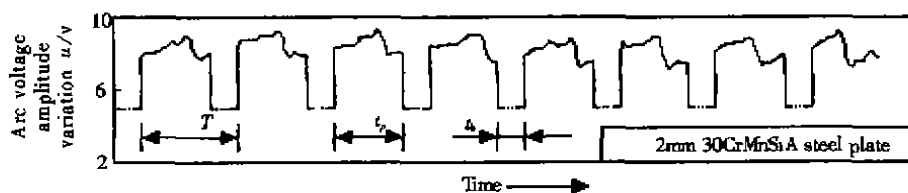
(a) 1mm low carbon steel plate

($V_w = 80 \text{ mm/min}$, $Fi = 80 \text{ Hz}$, $I_b = 13 \text{ A}$, $I_p = 65 \text{ A}$, $T = 1600 \text{ ms}$, $t_p = 700 \text{ ms}$)



(b) 1.5mm 45NiCrMo1V (D6AC) steel plate

($V_w = 80 \text{ mm/min}$, $Fi = 74 \text{ Hz}$, $I_b = 15 \text{ A}$, $I_p = 85 \text{ A}$, $T = 1600 \text{ ms}$, $t_p = 700 \text{ ms}$)



(c) 2mm 30CrMnSiA steel plate

($V_w = 80 \text{ mm/min}$, $Fi = 65 \text{ Hz}$, $I_b = 22 \text{ A}$, $I_p = 90 \text{ A}$, $T = 1600 \text{ ms}$, $t_p = 700 \text{ ms}$)

图 4 几种试件连续行走焊接电弧电压变动量幅值变化数据曲线

Fig. 4 Acquisition data of arc voltage amplitude variations in traveling arc welding

由图4变化曲线看到,连续行走状态下,电弧电压变动量幅值检测波形表现出数据衰减即熔池谐振特征,其信号水平已达到能够正确判断数值且出现几率很高,前几点由于开始焊接时熔池尚处于冷态,所形成的熔池小、未达到谐振尺寸而没有谐振信号,随后的几点都表现出谐振特征,这为进一步的试验工作奠定了基础。

本文研究工作的主要目的是要在连续行走前提下实现熔透控制,并尽可能提高焊接速度。对焊接速度的满足将决定该方法的应用能力及发展前景。试验结果如图5所示,对1.0mm低碳钢试件在180mm/min焊接速度下熔池谐振信号的出现几率是满意的,受焊接电源输出能力的制约,在改进后能够继续提高焊速。

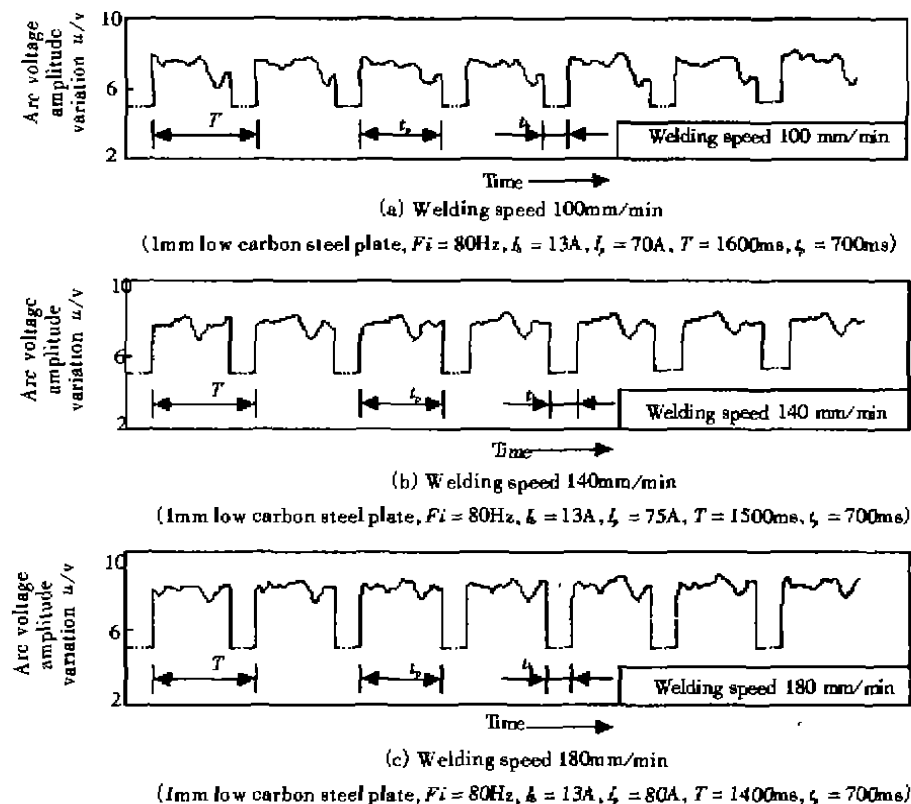


图5 连续行走焊接不同焊速下电弧电压变动量幅值变化数据曲线

Fig.5 Acquisition data of arc voltage amplitude variations at variant travel speeds

对D6AC超高强钢试板和30CrMnSiA高强钢试板采用不同焊接速度试验,在140mm/min(D6AC、1.5mm厚度)和120mm/min(30CrMnSiA、2mm厚度)连续行走焊接速度下取得了满意的结果,今后尚可以进一步提高。可以确认,采用低频脉冲正弦波调制连续行走熔池谐振检测焊接熔池方法是可行的。

2.2 连续行走焊接熔透控制试验研究

把脉冲焊熔池谐振检测方案应用在焊接熔透控制工作中,所采取的操作策略如下:在焊接速度确定后,依据工件条件及焊道尺寸要求,选定主要焊接参数范围(I_b , I_p , F_i , T , t_p),围绕此参数范围进行试验。焊接起弧后平台行走,在脉冲电流启动的同时计算机定时采样电弧电压变动量幅值,经数值比较和幅值衰减判断,在熔池谐振时刻到来时及时检测到熔池谐振信号,并即时指令停止脉冲峰值电流,只保持基值电流维持电弧稳定燃烧,并保持平台行走不变。在此期间计算机继续计数脉

冲周期,在时间已达到一个脉冲周期时指令焊接电源再次启动脉冲峰值电流,进行第二个脉冲点的焊接。并重复上述过程,如此进行下去,直至焊接结束。这一过程如图 6 所示。图中所示 t_p' 及 t_p'' 由计算机依据熔池谐振信号的出现时刻自动确定,实时控制每一脉冲周期的峰值加热时间,实际上这正是熔透控制的核心所在,而对熔池谐振尺寸的时间检测误差不超过 1 个正弦周波,满足 TIG 焊的实际要求。

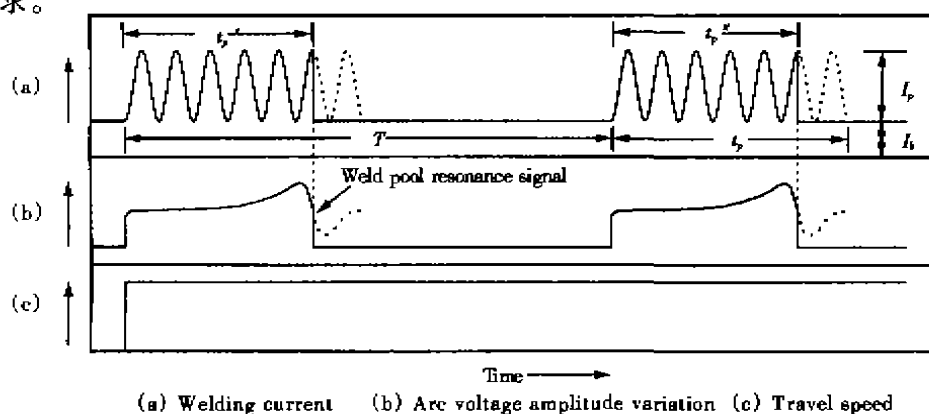


图 6 连续行走焊接熔透控制过程

Fig.6 Penetration controlling method of traveling arc welding

试验对电弧电压变动量幅值数据采样及实施控制结果如图 7 所示,不同变动焊接电流频率下

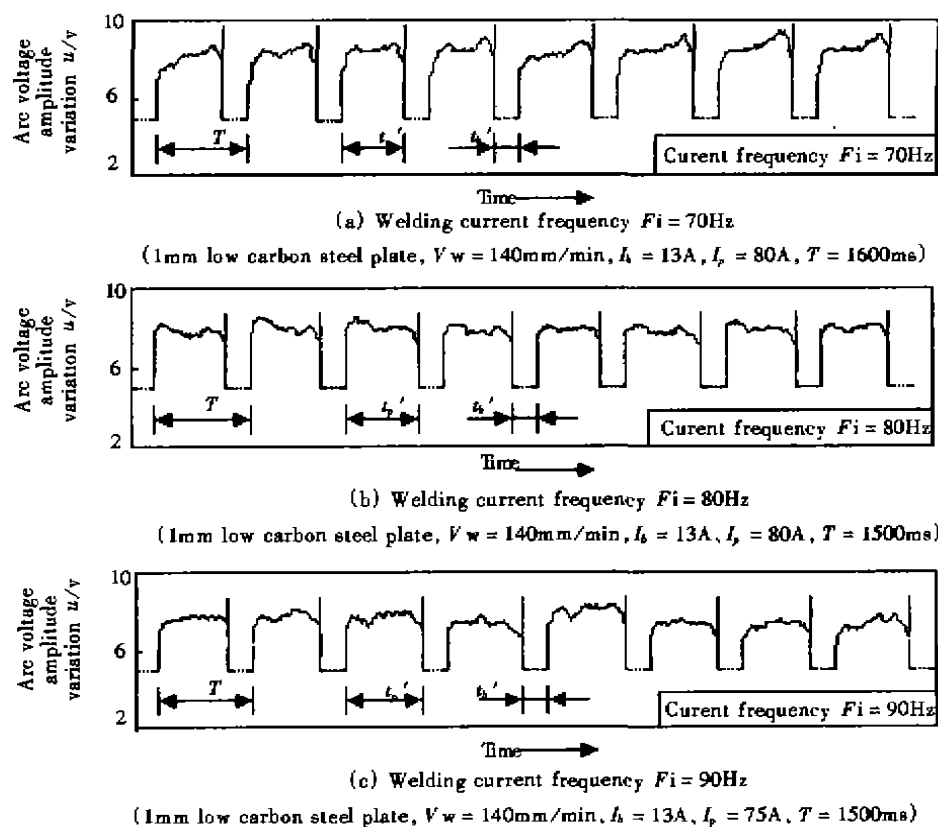


图 7 连续行走焊接熔池谐振检测与熔透控制输出结果

Fig.7 Result of weld pool resonance acquisition and penetration control in traveling arc welding

对各脉冲焊点检测到熔池谐振信号,并成功地实现了焊接熔透反馈控制。堆焊焊道焊点尺寸均匀,熔透良好,脉冲焊点相互搭接间距合适,正反面焊道宽度均匀一致。

焊接熔透控制是一项长期而艰巨的课题,本文只在薄钢板 TIG 焊方面做了初步工作,今后需要在如下几方面进行深入研究:提高信号处理水平,进一步提高谐振信号重复几率,提高焊接速度,对缝焊接,考验散热条件变化的影响,重要的是摸索合理的焊接规范,以期最终成功地应用于实际焊接生产。

3 结 论

以电弧电压变动量幅值为数据检测对象,应用熔池谐振方法在连续行走脉冲 TIG 焊试验中成功地检测到熔池谐振信号,信号重复性良好,出现几率高,用于进行熔透反馈控制,焊道各脉冲焊点尺寸均匀一致,对 1mm 厚度低碳钢板,焊接速度可达到 180mm/min,对 1.5mm 厚度 D6AC 超高强钢试板和 2mm 厚度 30CrMnSiA 高强钢试板均取得满意结果,证明所研究方法具有良好发展前景。

(1998-08-18 收到初稿,1999-09-16 收到修改稿)

参 考 文 献

- 1 Renwick R J, Richardson R W. Experimental investigation of GTA weld pool oscillations. *Welding Journal*, 1983, 62(2):29~33.
- 2 Xiao Y H, Den G. Ouden. A study of GTA weld pool oscillation. *Welding Journal*, 1990, 69(8):289~296.
- 3 Xiao Y H, Den G. Ouden. Weld pool oscillation during GTA welding of mild steel. *Welding Journal*, 1993, 72(8):428~440.
- 4 王其隆等. 快速行走焊接时熔透信号的提取与分析. *焊接学报*, 1990, 11(3):175~180.
- 5 Wang Q L, Yang C L, Geng Z. Separately excited resonance phenomenon of the weld pool and its application. *Welding Journal*, 1993, 72(9):455~465.
- 6 杨春利等. TIG 焊熔池外激谐振与熔透的关系. *焊接学报*, 1990, 11(4):194~198.
- 7 杨春利等. 薄板 TIG 焊熔池谐振法熔透自适应控制. *金属科学与工艺*, 1991, 10(3):95~100.

Welding Penetration Control with Weld Pool Resonance in Traveling Pulse TIG Welding

Yang Chunli, He Jingshan, Lin Sanbao, Wang Qilong

(National Key Laboratory of Advanced Welding Technology, Harbin Institute of Technology)

Abstract There exists excellent corresponding relationship between weld pool oscillation frequency and weld pool size in TIG welding, which can be used to detect weld pool size and control the weld pool penetration. However, It is very difficult during fast travelling welding. In this paper, the weld pool is excited by pulsating welding current which is produced by superimposing a certain frequency sine wave current on the straight polarity DC current, and the oscillating signals of weld pool can be detected through arc voltage signals in travelling TIG welding. During the time when pulsating welding current works, along with the increase of weld pool size, weld pool resonance phenomenon happens when the nature oscillation frequency of the weld pool is equal to the frequency of sine wave current. The feature variant signal of weld pool resonance, detected from arc voltage signal, is better in strength, stability and repeatability than existing method with short pulse high welding current to detect the weld pool oscillation. Moreover, this method has been used for full penetration control in TIG welding and has acquired well effect.

Key words pulse TIG welding, weld pool resonance, penetration control

作者简介 杨春利,男,1962年11月出生,哈尔滨工业大学焊接教研室副教授。研究方向:电弧焊方法及过程控制,TIG焊熔透控制技术。研究课题:导弹超高强钢薄壁壳体 TIG 焊质量自动控制技术,九五跨行业项目——TIG 焊熔透控制技术的研究,已在国内外发表学术论文 14 篇。