

文章编号: 2095-2163(2020)03-0371-04

中图分类号: TG409

文献标志码: A

# 基于 LabView 脉冲微束等离子弧焊熔池振荡信息提取

陶旭阳, 何建萍, 徐磊

(上海工程技术大学 材料工程学院, 上海 201620)

**摘要:** 熔池振荡频率与熔池尺寸具有直接的物理关系, 在脉冲电流的激发下, 焊接熔池自由表面将会以其自身固有频率振荡。在实验室现有的脉冲微束等离子弧焊接试验系统基础上, 设计并搭建焊接电信号实时采集系统, 利用 LabView 软件对采集到的电弧电压信号进行频谱分析, 从中提取到了熔池的振荡频率。并设计变量实验, 以探讨脉冲频率增加对于熔池振荡频率的影响。结果表明, 在其他焊接工艺参数不变的前提下, 随着脉冲频率的增加熔池的振荡频率几乎呈线性增加, 且熔池振荡频率约为脉冲频率的 5 倍。

**关键词:** 熔池振荡; 电弧电压; 频谱分析; LabView

## Extraction of oscillation information of pulsed micro-beam plasma arc welding pool based on LabView

TAO Xuyang, HE Jianping, XU Lei

(School of Materials Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

**[Abstract]** The oscillating frequency of the molten pool has a direct physical relationship with the size of the molten pool. Under the excitation of the pulse current, the free surface of the welding pool will oscillate at its own natural frequency. The arc voltage can be collected and analyzed by spectrum analysis to obtain the natural oscillation frequency of molten pool. Based on the pulse micro-beam plasma arc welding test system, the arc voltage signal acquisition system is designed and built. The virtual instrument software LabView is used to collect and process the arc voltage signal to obtain the oscillation frequency of the molten pool. The variable experiment is designed to investigate the influence of pulse frequency increase on the natural oscillation frequency of the molten pool. The results show that under the premise of other welding process parameters, the oscillation frequency of the molten pool increases almost linearly with the increase of pulse frequency, and the oscillation frequency of the molten pool is about 5 times of the pulse frequency.

**[Key words]** welding pool oscillation; arc voltage; spectrum analysis; LabView

## 0 引言

熔池形态与焊接过程中的稳定性及焊缝成形质量具有直接的关系<sup>[1-2]</sup>, 可靠检测并解析脉冲微束等离子弧焊接熔池行为, 这对实现焊接过程控制及焊接自动化具有至关重要的意义。

微束等离子弧焊接过程中, 熔池的振荡包括熔池固有振荡以及外加激励源的诱发振荡<sup>[3-9]</sup>。由于熔池的固有振荡十分微弱, 不易被检测到, 因此, 本文是通过施加短时脉冲电流作为激发源诱发焊接熔池的振荡, 使得熔池表面呈现周期性的波动, 提高了熔池振荡的可检测性<sup>[9-14]</sup>。而熔池的波动导致弧长产生变化, 因此, 可以从脉冲微束等离子弧焊接过程中采集到的电弧电压信号中提取出熔池振荡的相关信息。本文在实验室已有的焊接实验平台上, 设计并构建了焊接电信号实时采集系统。并利用 LabView

虚拟仪器软件对所采集到的电弧电压信号进行滤波及频谱分析, 从而成功提取出熔池的振荡频率。再通过设计变量实验, 探讨脉冲频率改变对于熔池振荡频率的影响。熔池振荡频率的成功提取, 可以实现对焊接过程的控制, 并提高焊件质量和实际生产效率。

## 1 工艺试验

### 1.1 试验系统的建立

在实验室现有的微束等离子弧焊接试验平台上, 搭建了焊接电信号实时采集系统, 其主要的硬件设备如下: 电压传感器 CHV-100 Vs, 泛华恒兴 PS MDU-3841 采集卡, 计算机。PS MDU-3841 数据采集模块提供 32 路 18 bit 模拟信号输入, 采样速率最高可达 1.25 Ms/s, 因此能够实现数据采集和焊接过程信号统计, 试验原理如图 1 所示。

**作者简介:** 陶旭阳(1995-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 微束等离子弧焊接过程自动化控制; 何建萍(1964-), 女, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向: 微束等离子弧焊接。

**通讯作者:** 何建萍 Email: janejphe@163.com

**收稿日期:** 2019-11-26

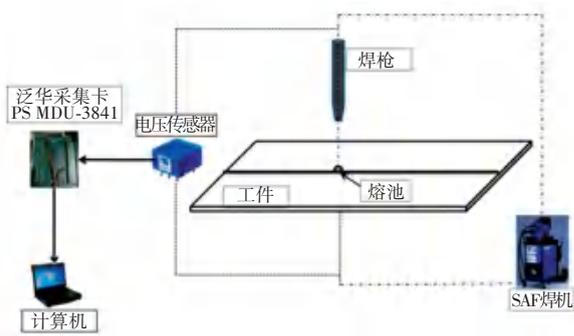


图1 试验原理示意图

Fig. 1 Test principle diagram

在上述试验平台上进行试验可实现微束等离子弧焊接电信号的实时采集。对焊接电流以及电弧电压信号进行双通道同步采集时,需将采样率调至 20 K 以保证信号采集不会失真。

### 1.2 工艺试验

在已搭建完成的试验平台上进行试验,在本次试验中,使用厚度为 0.1 mm 的镍基 718 合金作为焊接母材,且焊接工艺参数见表 1。由于电弧在过快的焊接速度下会发生偏移,电弧中心轴线会处于熔池中心的前方,所以,为保证熔池振荡频率的有效提取,焊速不宜过快,这里将焊速设置为 4.1 mm/s,可保证信号的传感质量。

表1 焊接电流参数

Tab. 1 Welding current parameters

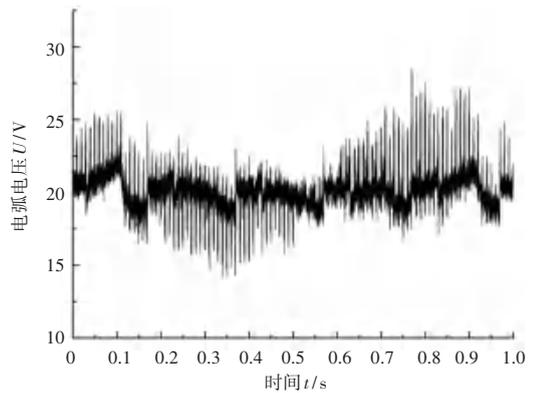
基值电流 $I_b/A$	峰值电流 $I_p/A$	占空比 $\Delta/\%$	脉冲频率 $f/Hz$
0.6	4.2	30	5

## 2 试验结果及分析

### 2.1 试验结果

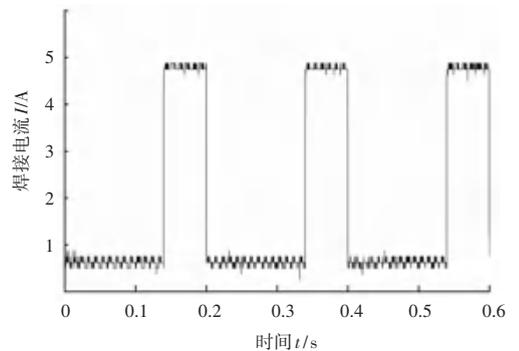
通过已搭建好的试验平台成功采集到在表 1 焊接工艺参数下进行焊接试验的焊接电信号,如图 2 所示。

从图 2(a)中可以看出,通过试验得到的电弧电压信号波动幅度大且杂乱不堪,这是因为在试验过程中电弧随着熔池自由表面的波动而被不断拉长压缩,导致电弧电压上下波动,这里包含了丰富熔池振荡的信息,但想要从信号中提取出熔池振荡频率,还需要利用 LabView 对该信号进行处理分析。图 2(b)为焊接试验时采集到的焊接电流的波形,信号具有明显的周期性,且该信号周期为 0.2 s。从图 2(b)中还可以读出,电流信号基值阶段在 0.8 A 左右,峰值阶段在 4.8 A 左右,峰值电流的加载时间约为整个周期的 30%,这与表 1 所给的焊接工艺参数基本相符,这表明信号传感质量良好。



(a) 电弧电压

(a) Arc voltage



(b) 焊接电流

(b) Welding current

图2 焊接试验采集的电信号

Fig. 2 Electrical signals collected in welding tests

### 2.2 基于 LabView 的熔池振荡信息提取

LabView 是由美国国家仪器公司(NI)推出的一款基于图像化编程语言的软件,配合 NI 生产的系列采集卡可快速构建虚拟仪器平台实现信息实时采集及后处理。如今,LabView 在以 PC 为基础的测量和信号处理中具有很强的优势。

本实验中,通过 LabView 构建虚拟示波器,配合泛华恒兴 PS MDU-3841 采集卡成功采集到焊接电信号。但如图 2(a)所示,采集到的电弧电压信号杂乱不堪,需要在 LabView 中对其进行后处理,才能提取出熔池振荡信息。由于信号采集完成后在向计算机传送途中容易混入频率较高的噪声信号,需要对电弧电压信号进行滤波去噪。这里使用的是巴特沃兹滤波器,滤波器类型为低通,通过滤波可剔除信号中的高频噪声并有效提高其信噪比。

去噪后的信号需要进行快速傅里叶变化,从而获得该信号的频谱图。在对连续信号进行频谱分析采用的是离散傅里叶变换 DFT,其变换公式如下所示:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j\frac{2\pi}{N}kn}, \quad k = 0, 1, \dots, N - 1. \quad (1)$$

其中,  $N$  为采样试验中所设置的实际采样率, 离散信号  $x(n)$  是实际信号  $x(t)$  在进行采样后获得的。在 LabView 中采用 DFT 的快速算法 FFT 便可快速高效得到信号的频谱图, 其程序图如图 3 所示。

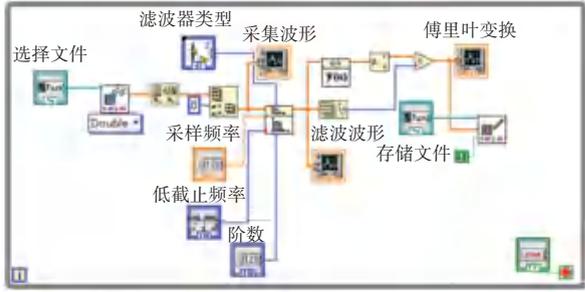


图3 LabView 信号处理程序

Fig. 3 LabView signal processing program

电弧电压信号频谱图如图 4 所示, 其特征频率明显, 而且可以从中提取出在表 1 下进行脉冲微束等离子弧焊接熔池的振荡频率为 25 Hz, 并且滤波效果显著。

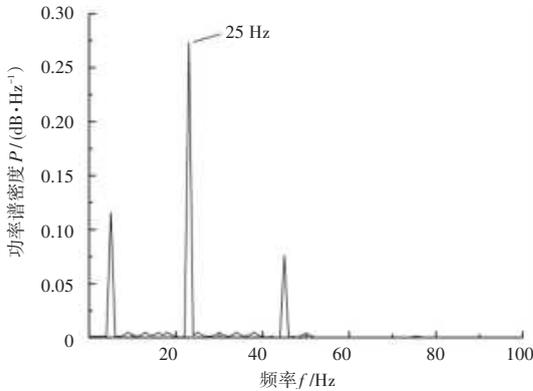


图4 电弧电压信号频谱图

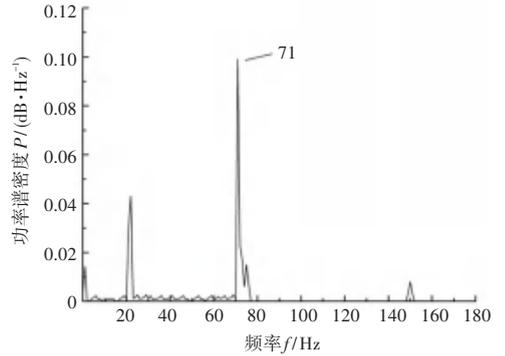
Fig. 4 Arc voltage signal spectrogram

### 3 脉冲频率对于熔池振荡频率的影响

研究表明, 熔池的振荡包括熔池固有振荡和外界因素的诱发振荡, 由于熔池的固有振荡与熔池的尺寸相关联, 在超薄板脉冲微束等离子弧焊接过程中熔池尺寸仅为 1~2 mm, 这使得熔池的固有振荡过于微弱不易被检测到。因此, 施加过短时脉冲电流作为激发源诱发焊接熔池的振荡, 从而提高熔池振荡频率的可检测性。而焊接电弧压力会随脉冲电流在基值阶段与峰值阶段不停切换而改变, 导致熔池自由表面受到电弧压力冲击产生的振荡的幅度是不同的。当脉冲频率增加时, 即基值电流和峰值电流之间的切换频率将加快, 这是否会对熔池振荡的频率产生影响, 需要进行试验探究。

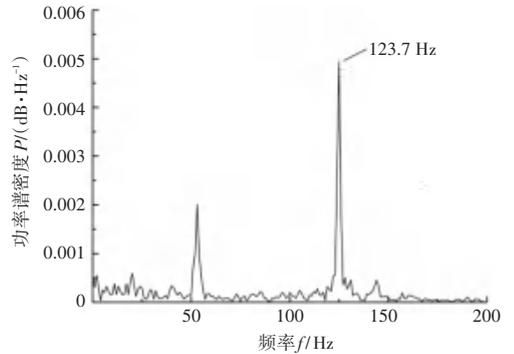
通过设计变量试验, 在表 1 其他各焊接工艺参数不变的前提下, 仅改变焊接电流脉冲频率进行试验, 提取出不同脉冲频率下焊接试验熔池振荡的频率。这里选取焊接频率分别为 5 Hz、15 Hz、25 Hz 以及 100 Hz, 其他焊接工艺参数均保持不变。

研究后可得, 从不同脉冲频率进行脉冲微束等离子弧焊试验电弧电压信号中提取到的熔池振荡频率即如图 5 所示。



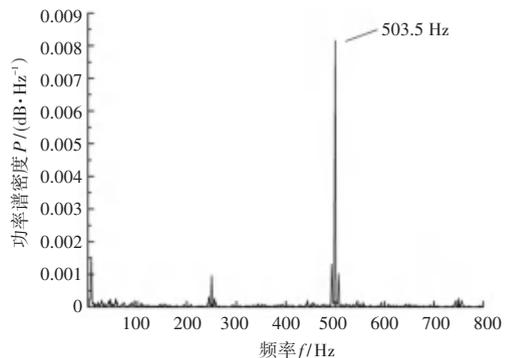
(a) 脉冲频率 15 Hz 时熔池振荡频率

(a) Oscillation frequency of the molten pool at a pulse frequency of 15 Hz



(b) 脉冲频率 25 Hz 时熔池振荡频率

(b) Oscillation frequency of the molten pool at a pulse frequency of 25 Hz



(c) 脉冲频率 100 Hz 时熔池振荡频率

(c) Oscillation frequency of the molten pool at a pulse frequency of 100 Hz

图5 不同脉冲频率下提取到的熔池振荡频率

Fig. 5 Oscillation frequency of the molten pool extracted under different pulse frequencies

由图5可知,当脉冲频率为15 Hz时提取到焊接熔池的振荡频率为71 Hz;脉冲频率为25 Hz时提取到焊接熔池的振荡频率为123.7 Hz;脉冲频率为100 Hz时提取到焊接熔池的振荡频率为503.5 Hz。可以发现,随着焊接电流脉冲频率的增加,熔池振荡频率也随之增加。这是因为,随着脉冲频率的增加,电弧压力的变化速率也随之增加,由于熔池表面是在脉冲电弧力的激发下产生激振,所以,当电弧压力的变化速率变快时,熔池的振荡频率也将随之增加。为研究镍基718合金脉冲等离子弧焊熔池振荡频率与脉冲频率的关系,将不同脉冲频率下熔池振荡频率制成X-Y图,如图6所示。

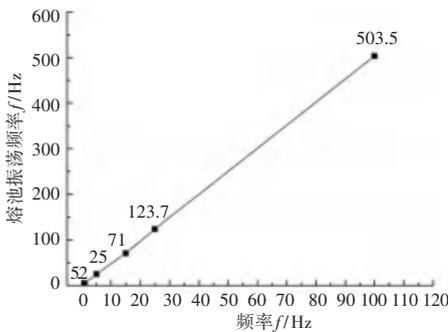


图6 脉冲频率-熔池振荡频率

Fig. 6 Pulse frequency-oscillation frequency of the molten pool

从图6中可以看出,熔池振荡频率随着脉冲频率增加几乎呈现线性增加,在不同脉冲频率下提取到的熔池振荡频率约为该脉冲频率的5倍,即:

$$f_z \approx 5f. \quad (2)$$

其中,  $f_z$  为熔池的振荡频率,  $f$  为焊接电流的脉冲频率。

#### 4 结束语

(1)通过以LabView为基础所构建的试验系统,实现了镍基718合金超薄板脉冲等离子弧焊接过程电信号的实时采集。

(2)利用LabView对电弧电压信号进行频谱分析,从电弧电压信号中成功提取到了不同脉冲频率下熔池的振荡频率。

(3)在镍基718合金超薄板微束等离子弧焊接过程中,熔池的振荡频率约为脉冲频率的5倍,即  $f_z \approx 5f$ 。

#### 参考文献

- [1] SHI Yu, LI Chunkai, DU Leiming, et al. Frequency characteristics of weld pool oscillation in pulsed gas tungsten arc welding[J]. Journal of Manufacturing Processes, 2016, 24:145.
- [2] HUANG Jiankang, YANG M H, CHEN Jinsong, et al. The oscillation of stationary weld pool surface in the GTA welding[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2018, 256:57.
- [3] GU Yufen, DU Leiming, LI Chunkai, et al. Comparison analysis of arc light and laser vision sensing weld pool oscillation characteristic signals[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2016,37(9):18.
- [4] 李春凯,石玗,朱明,等.连续脉冲GTAW熔池振荡频率的检测及分析[J].焊接学报,2017,38(10):43.
- [5] CHO J, FARSON D F, HOLLIS K J, et al. Numerical analysis of weld pool oscillation in laser welding[J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2015, 29(4):1715.
- [6] 顾玉芬,杜雷明,李春凯,等.弧光法与激光视觉法检测熔池振荡特征的对比分析[J].焊接学报,2016,37(9):18.
- [7] ZHAO Liangqiang, WANG Jifeng, LIN Tao, et al. Analysis of aluminum GTAW pool oscillation model[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2010,44(S1):92.
- [8] LI Chuankai, SHI Yu, GU Yufen, et al. Monitoring weld pool oscillation using reflected laser pattern in gas tungsten arc welding[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2018, 255:876.
- [9] LU Fenggui, TANG Xinhua, YU Hailiang, et al. Numerical simulation on interaction between TIG welding arc and weld pool[J]. Computational Materials Science, 2006, 35(4):458.
- [10] MATSUI H, CHIBA T, YAMAZAKI K. Detection and amplification of the molten pool natural oscillation in consumable electrode arc welding[J]. Quarterly Journal of The Japan Welding Society, 2010, 28(1):123.
- [11] LI Chunkai, SHI Yu, ZHU Ming, et al. Detection and analysis of weld pool oscillation frequency for continuous P-GTAW[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2017,38(10):43.
- [12] LI Chunkai, SHI Yu, GU Yufen, et al. Effects of different activating fluxes on the surface tension of molten metal in gas tungsten arc welding[J]. Journal of Manufacturing Processes, 2018, 32:395.
- [13] FERRO P. Molten pool in welding processes: Phenomenological vs fluid-dynamic numerical simulation approach[J]. Materials Science Forum, 2017, 884:26.
- [14] 春兰,韩永全,陈芙蓉,等.变极性等离子弧焊接熔透信息的检测与分析[J].机械工程学报,2015,51(20):114.