Î¬ÆÕ×ÊÑ¶ http://www.cqvip.com

第11卷 第4期 焊 接 学 报 Vol.11 No.4
1990年12月 HANJIE XUEBAO December 1990

TIG焊熔池外激谐振与熔透的关系

杨春利博士生 张九海副教授 王其隆教授

（哈尔滨工业大学）

摘 要

薄板TIG焊时，利用脉动电流引起熔池振荡。当脉动电流与一定尺寸熔池自然振荡频率相同时，则熔池产生谐振，造成电弧长度及电弧电压有较大的往复变化。对电弧电压变动部分进行滤波、放大并用计算机采样，发现当熔池谐振时，电弧电压变动部分达到最大幅值，谐振后幅值很快衰减。本文以熔池谐振信号做为熔透信息进行熔透控制，给出了脉动电流电源，计算机检测系统。研究了熔透信号的变化规律及影响因素，在定点电弧及对接焊时，熔池尺寸与熔池谐振频率有较好的对应关系，以焊接电弧做为传感器，用熔池谐振频率控制熔透及熔池尺寸，有很好的重复性及较高的精度，这对解决熔透闭环自适应控制有很大的实际意义。

	han	xie	kong
主题词	焊接	谐振	控制

0 序 言

焊缝熔透自适应控制，近年来已引起国内外的注意，并对此进行了大量的研究工作。这项技术的关键是如何方便可靠地提取熔透的信息。有人用红外检测温度的方法，从焊缝正面或背面提取靠近熔池区域的温度场信号，作为熔透信息控制焊缝正反面成形，并已在生产中应用[1,2]。但由于受弧光的干扰及温度滞后特性的影响，提取信号精度差，又受工作条件的限制，使这种方法不能广泛应用。有人用声控的方法，在用等离子弧焊管子时控制焊缝成形取得了满意的结果，此种方法只能用于管道焊接。也有人用超声、熔池振荡等方法研究熔透[3,4]，但都处于实验室阶段。因此研究一种方便的从熔池正面提取熔透信号的方法，对解决熔透自适应控制问题有很大的实际意义。

本文利用附加脉动电流引起熔池谐振的方法，提取熔池谐振时电弧电压变化部分作为熔池振荡和熔透控制信号，研究了熔池谐振特性与熔池尺寸的关系，熔池谐振信号的变化规律及影响因素。这项研究工作给熔透自适应控制开辟了一个新的途径。

Î¬ÆÕ×ÊÑ¶ http://www.cqvip.com

1 实验原理及装置

1.1 实验原理

薄件焊接形成熔池时，熔池受到外力作用产生振荡，造成弧长及电弧电压信号的变化。熔透熔池的自然振荡频率与熔池质量、尺寸及外部拘束条件有关。如果外加一定频率的变动电流，就会造成一定频率的冲击力。当电流作用频率与一定尺寸熔池固有振荡频率相同时，则熔池产生谐振，此时熔池振幅最大。如果外激周期力频率大于或小于熔池自然振荡频率，将不会产生谐振且振幅小于谐振振幅。焊接过程中，随着电弧加热熔池尺寸逐渐长大，对应焊接熔池长大的每一时刻，它的自然振荡频率都在变化。因使用的是具有一定频率的脉动焊接电流，焊接熔池外激振荡频率将与脉动电流频率相同，当熔池长大到某一尺寸时，熔池自然振荡频率与脉动电流频率一致，则产生谐振，其振幅最大。这样可以由脉动电流频率决定谐振熔池尺寸，也就是通过脉动电流频率的选择来控制熔池尺寸的大小。熔池振荡造成振幅的变化，引起弧长和电弧电压的变化。因此，提取电弧电压变动量就代表熔池振荡及熔池尺寸的信息。

1.2 实验装置

根据上述原理，作者建立了一套由晶体管弧焊电源，计算机数据采集、处理、记忆示波器组成的熔池谐振实验检测系统，如图1所示。焊接电源是晶体管恒流特性电源，输出的焊接电流波形如图2所示。焊接时脉动电流引起熔池的振荡，造成弧长及电弧电压往复变化。因只有电弧电压变动部分才代表熔池振荡的特征，所以实验时对电弧电压进行滤波，消除其直流分量；对交流部分进行采样、放大，监测其幅值的变化，以此来检测熔池谐振信号，也就是检测了熔池的尺寸。

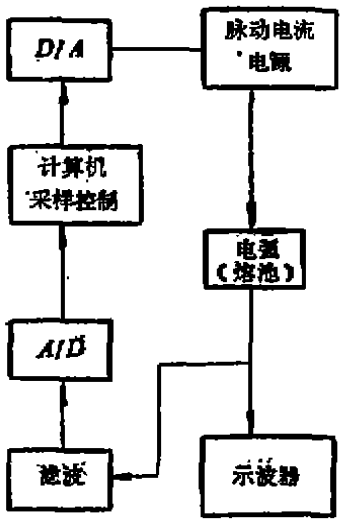


图1 熔池谐振检测系统的组成框图

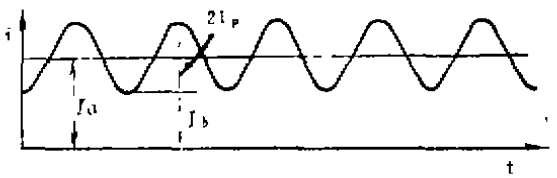


图2 焊接电流波形

Î¬ÆÕ×ÊÑ¶ http://www.cqvip.com

2　实验结果

2.1　焊接熔池谐振现象

利用图 2 所示的焊接电流，将变动电流频率固定为某一数值，在2mm厚的钢板上进行点弧实验，通过示波器对电弧电压变动部分进行观察，同时用计算机对其幅值采样发现：

（1）在焊接熔池从小到大成长过程中，在某一时刻，当熔池出现谐振时，熔池振幅最大，此时的电弧电压交流分量的幅值也最大。这时的熔池尺寸正是谐振尺寸。

（2）随着电弧继续加热，焊接熔池继续长大，一旦熔池尺寸超过了谐振尺寸，电弧电压交流分量的幅值急骤衰减，在达到最低值后又逐渐恢复到谐振前的水平，图 3 是这种现象的记录。大量实验证明，这种现象有良好的重复性。在一定范围内改变脉动电流频率都可以得到类似的结果。随着脉动电流频率的变化，熔池谐振现象出现的时间也将改变，脉动电流频率越高，谐振出现的时间越早，对应的熔池尺寸也越小。

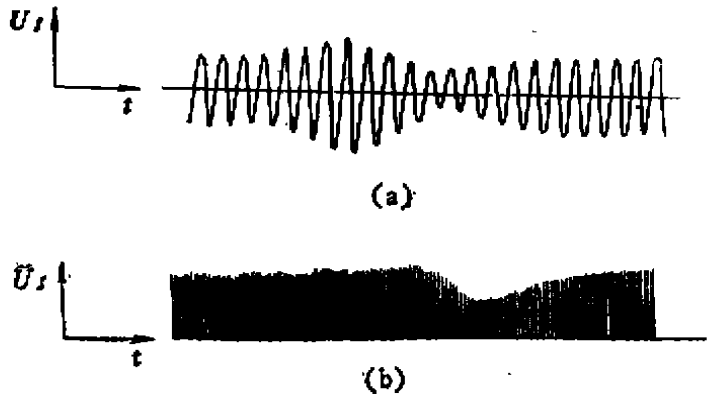


图 3　电弧电压变动量幅值计算机采样波形

(a) 示波器波形　　(b) 计算机检测结果

2.2　熔池谐振频率与熔池尺寸的关系

在定点电弧条件下，采用某一频率的脉动电流进行焊接。利用计算机对电弧电压交流分量幅值进行采样，并对采样值进行实时比较。当熔池尺寸增大到稍大于谐振尺寸时，电弧电压交流分量幅值急剧地衰减。实验确定当电弧电压幅值衰减100mV时，计算机自动给出脉冲，关掉焊接电源。这一过程如图 4 所示，熔池凝固后，测量熔核尺寸，即是设定频率下的谐振尺寸。改变脉动电流的频率，可以得到不同电弧电压幅值变化特征点及其相对应不同的熔池谐振尺寸。由此可以得到熔池谐振频率与熔池谐振尺寸之间的对应关系，如图 5 所示。由图 5 可以看出熔池谐振频率与熔池尺寸之间有良好的线性关系。焊接熔池尺寸越大，其谐振频率越低。在同样脉动电流频率的条件下，谐振熔池尺寸最大偏差值在0.3mm之内。

2.3 影响熔池尺寸及控制精度的因素

2.3.1 控制阈值电压对谐振熔池尺寸的影响

焊接熔池振荡，引起电弧电压变动量幅值在熔池谐振点附近的变化，如图6所示。ΔV_{max}为电弧电压变动量幅值在熔池谐振过后的最大衰减值，ΔV为控制阈值电压。实验研究了不同阈值电压对谐振熔池尺寸的影响。对2mm厚的低碳钢板，利用计算机程序选取50～400mV不同的阈值电压，在一个试件上用不同的ΔV值进行多点堆焊。弧长2mm，附加正弦波脉动峰值电流I_p=25A，基值电流I_b=12A和I_b=25A两种。脉动焊接电流频率为62Hz，实验结果如图7所示，由图7中的数据可以看出，在两组基值电流(I_b)条件下，当ΔV在50～400mV之间变化时，熔池直径变化范围也只有0.3mm左右。对其它厚度薄钢板试验也有类似的结果。

实验发现，电弧长度变化时，电弧电压变动量幅值衰减最大值ΔV_{max}也发生变化，随着弧长的增加，ΔV_{max}下降。当弧长在1.0～3.5mm之间变化时，能可靠地取得熔池谐振信号。

2.3.2 脉动电流频率对ΔV_{max}值的影响

在不同脉动电流频率情况下对谐振幅值与谐振频率的关系进行了研究。对1mm厚低碳钢板，弧长1.6mm，I_b=15A，I_p=25A，用不同频率的脉动电流进行焊接，做出谐振幅值的变化曲线，测量谐振幅值最大衰减值ΔV_{max}与脉动电流频率的关系如图8所示，从图8中数据可以看出，当脉动电流频率在50～110Hz范围内变化时，熔池产生谐振之后，电弧电压变动量幅值都有100mV以上的特征性衰减。

图4 计算机检测控制过程波形图

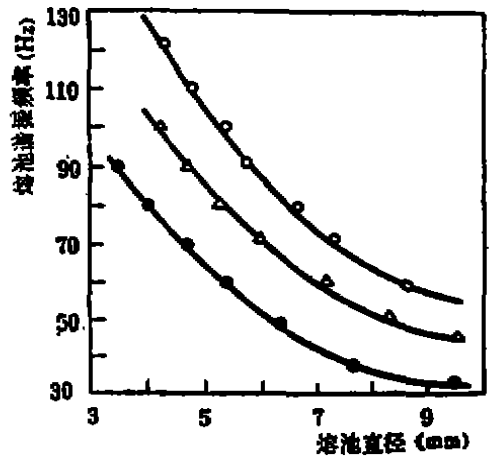


图5 熔池谐振频率与谐振熔池尺寸间的关系

○ 1mm不锈钢 △ 1mm低碳钢 ● 2mm低碳钢

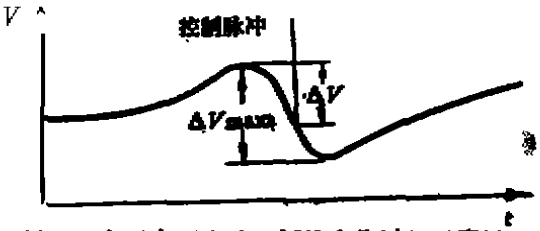


图6 电弧电压变动量幅值变化过程示意图

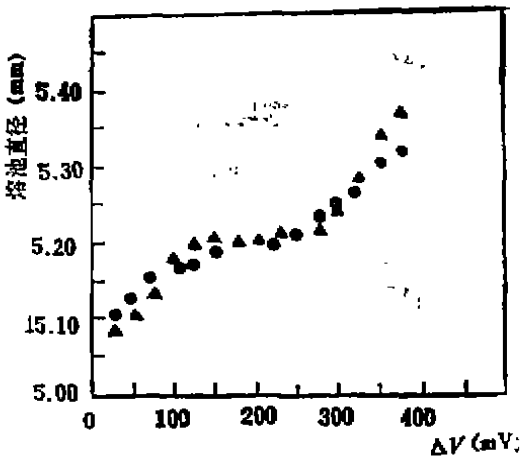


图7 不同ΔV下的熔池尺寸

2mm低碳钢 ▲ I_b=12A ● I_b=25A

这一具有突变性的信号为我们用来进行熔池尺寸的实时检测及其反馈控制提供了方便，也确定了这一方法的可靠性。

2.3.3 对接焊熔池谐振频率与焊缝尺寸的关系

利用上述的控制原理，对1mm，2mm厚低碳钢板进行不添焊丝对接TIG焊。在不同脉动电流作用下，得到不同的正反面熔宽，图9表明在对接焊时，脉动电流频率与正反面焊缝宽度也有很好的对应关系。这一结果说明，利用熔池谐振控制焊缝尺寸有很高的控制精度，可以控制焊缝熔透过程。实验同时证明，对接焊1mm厚板材，其间隙和错边达1mm时，同样可以精确地通过熔池谐振来控制焊缝的熔透过程。本实验已建立了由脉动电流电源，步进电弧行走机构，计算机数据采集和反馈控制组成的控制系统，并已进行了初步的自适应熔透控制实验，已取得了满意的结果。

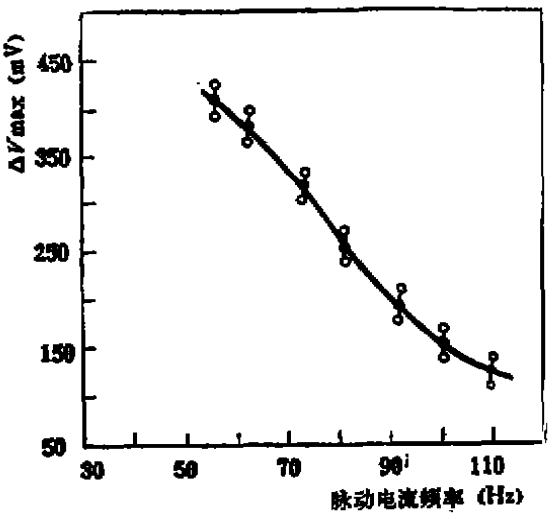
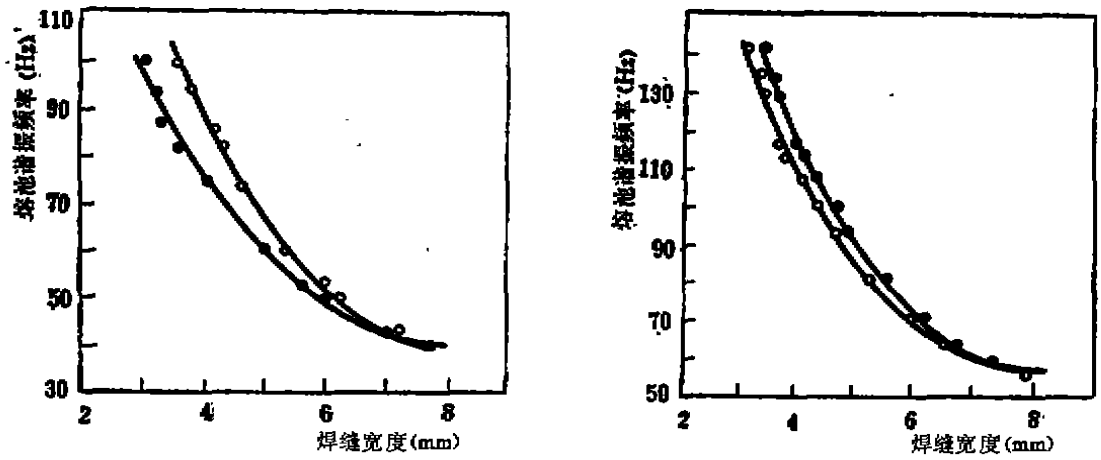


图8　脉动电流频率对ΔVmax的影响

1mm低碳钢板
弧长1.6mm
I_b = 15A　　I_p = 25A



(a) 1mm不锈钢　　(b) 2mm低碳钢

图9　熔池谐振频率与焊缝尺寸间的关系

● 背面宽度　　○ 正面宽度

3 结　　论

(1) 利用设定频率的脉动电流，引起熔池谐振的方法，检测熔池谐振信号的变化，可以提取TIG焊熔池尺寸及熔透信号。

Î¬ÆÕ×ÊÑ¶ http://www.cqvip.com

（2）熔池谐振频率与谐振熔池尺寸间有严格的对应关系。可以通过设定脉动电流频率来控制熔池及焊缝尺寸。

（3）本控制方法，当存在间隙、错边及散热条件在较大范围变化时，都有较高的控制精度，因此可以用于熔透实时控制系统中，具有较高的实用价值。

（1990年9月6日收到修改稿）

参 考 文 献

1 小園裕三等。溶接部の溶込け制御に関する研究。溶接学会論文集，1986，10(2)：38～48

2 Smith C J 等。钨极惰性气体保护焊熔深自适应控制。焊接自动化译文集，北京：中国铁道出版社，1983.147～163

3 Fenn R. Ultrasonic Monitoring and Control During Arc Welding. Welding Journal, 1985（9）：18～22

4 Renwick R J, Richardson R W. Experimental Investigation of GTA Weld Pool Oscillation. Welding Journal, 1983,10（2）：29～35

Î¬ÆÕ×ÊÑ¶ http://www.cqvip.com

RELATIONSHIP BETWEEN THE WELD POOL RESONANCE AND THE WELD FULL PENETRATION IN TIG WELDING

Doctor Student Yang Chunli, Associate Professor Zhang Jiuhai,

Professor Wang Qilong

(Harbin Institute of Technology)

Abstract

The weld pool oscillation can be excited by fluctuating welding current in thin plate TIG welding. When the fluctuating cuttent frequency is identical with the natural frequency of the weld pool, the resonance of the weld pool is produced so that the arc length and the arc voltage will be changed at same time. The variable parts of the arc voltage are filtered, amplified and monitored by a computer. It is found that during the weld pool resonance, the amplitude of variable parts of the arc voltage becomes maximum then it is decreased obviously. Using the weld pool resonance as singnals to control the weld full penetration is possible. In this paper, the measuring system consisting of a fluctuating current power source and a computer monitor unit is introduced. The regularity of the weld pool resonance and its influence factors are studied. There is a good corresponding relationship between the weld pool size and the weld pool resonance frequency in stationary arc and butt welding. Using weld arc as a sensor through the weld pool resonance signals to control the weld full penetration, there are good repeatability and high accuracy. The method developed in this paper offers a promising prospect for solving the weld full penetration adaptive control.

Key words　Welding　Resonance　Control