

TIG 焊变频电流下熔池谐振检测与研究

TG444.74
tg401

杨春利, 何景山, 王其隆, 周涛

(哈尔滨工业大学现代焊接生产技术国家重点实验室, 哈尔滨 150001)

摘要: 建立基于弧光传感的试验系统,在定点电弧和连续行走电弧下,利用频率线性变化的变动焊接电流对薄钢板 TIG 焊熔池进行激励,当熔池固有振荡频率同激励电流频率一致时,熔池发生谐振。通过对电弧弧光采样数据幅值提取,检测出熔池振荡特征信号并可证明为熔池谐振信号,可用于实时判断焊接熔池尺寸信息,为解决连续行走 TIG 焊熔透控制开辟了一条新途径。

关键词: 变频率电流; 熔池谐振; TIG 焊

中图分类号: TG444 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2000)02-06-04



杨春利

变频电流 检测
熔透控制

0 序 言

从焊件正面提取信号进行焊接熔深或熔透控制,是一项没有解决的难题。焊接熔深及熔透控制技术的关键是有效地获取焊接熔池尺寸的信息。许多方法被应用到熔透特征信号的提取中,如焊缝区温度场检测、超声波检测、视觉检测、熔池振荡检测^[1,2]等,但都有局限性。熔池谐振法熔透控制技术^[3,4],以其技术新颖、控制效果好而受到关注,此方法在 D6AC 钢及 30CrMnSiA 焊件的实际控制过程中已得到应用。但是该项工作采用步进电弧的方式实现焊接,以牺牲焊接速度来满足焊接质量的要求,生产效率受到影响。为了使熔池谐振方法更好地应用于生产实际,本文提出采取在一定频率范围内线性变化的变频率电流扫描焊接熔池,提取熔池谐振信号作为熔透控制信号,为解决连续行走 TIG 焊熔透控制开辟了一条新途径。

1 试验原理及装置

1.1 试验原理

TIG 焊连续行走情况下,熔池的尺寸在各个时刻是不一致的,但通常在一定范围内变动着。从对熔池振荡的基础研究已明确,全熔透状态下每一确定尺寸的熔池都具有一个确定的固有振荡频率,而熔池尺寸与熔池自身固有振荡频率具有良好的反比对应关系,焊接过程中如能实时检测到熔池固有振荡频率,无疑对确切判定熔池尺寸进而进行反馈控制是有益的。采用频率随时间线性变化的变频率变

动焊接电流作为激励源,其频率范围值的选择依据熔池尺寸的变化范围与可能存在的熔池固有振荡频率范围相叠合,则在焊接电流的一个变频率扫描周期内,总存在熔池固有振荡频率与激励扫描频率的交汇点,熔池将在此时刻产生谐振。通过对熔池谐振时刻以及谐振频率点的计算,可以明确现阶段熔池尺寸,进而可以为调整焊接参数提供依据。

薄件焊接熔池振荡造成电弧长度的变化,实践证明电弧长度同电弧弧光光强存在良好线性关系^[5],通过弧光传感能够反映熔池振荡情况,因此本文采用弧光传感检测熔池振荡。

1.2 试验装置

根据以上原理,建立由直流焊接电源、弧光信号传感、计算机数据采集和处理组成的熔池谐振检测系统,如图 1 所示。焊接电源是晶体管恒流特性电源,受计算机控制,输出的焊接电流波形如图 2 所示,即在基值电流上叠加变频率正弦波电流构成变动焊接电流,简称为变频扫描焊接电流。试验时弧光光强信号变动量反映熔池振荡的特征,对弧光光强信号进行滤波,消除直流分量,对正弦波分量进行采样,由此检测熔池谐振信号,也就检测了熔池的尺寸。

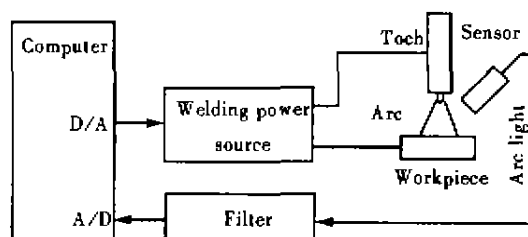


图 1 熔池谐振检测试验系统框图

Fig.1 Schematic diagram of monitoring system of weld pool resonance

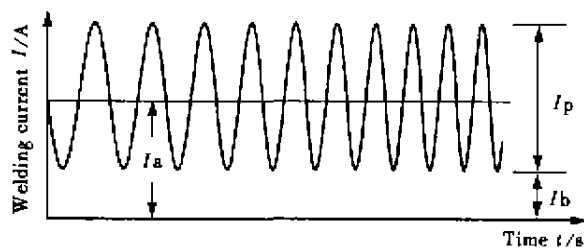


图2 变频率焊接电流

Fig.2 Welding current of pulsating frequency

扫描周期内,在直流基值电流之上叠加正弦波形式的变频扫描焊接电流,变动电流频率从低值向高值线性增加,同时进行弧光信号的检测,这相当于低频脉冲焊中的脉冲峰值时间,即以较高频率的变频正弦波调制低频脉冲。在完成一个扫描周期时,停止变动电流中正弦波分量的叠加,并进行采样数据存储,这相当于低频脉冲焊中的基值时间。然后重新开始下一个扫描周期的谐振和检测,试验结束后对采样数据进行处理和分析。

2 试验结果

试验材料采用 1.5 ~ 2.0 mm 厚度低碳钢板,在定点和行走两种情况下分别进行试验。

2.1 定点焊接熔池谐振信号

定点焊接熔池振荡规律在一定范围内适用于连续行走焊接时的熔池振荡情况,充分理解定点焊接时熔池谐振信号的产生规律,是进行连续行走焊接熔池谐振信号研究的前提和基础。试验选取的参数取值范围如表 1 所示。

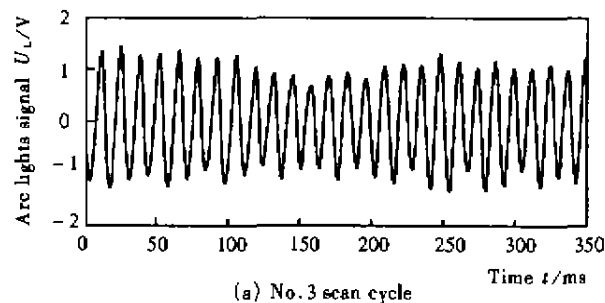
表1 TIG焊试验条件

Table 1 TIG welding experimental conditions

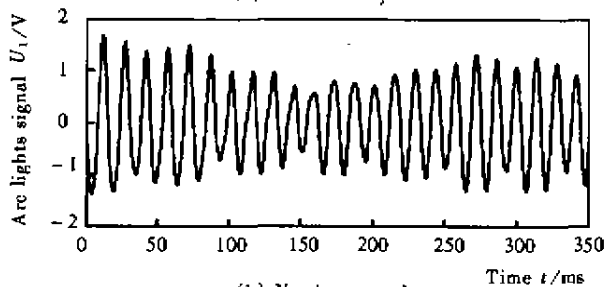
Base current	Peak current	Scan frequency	Scan time	Arc length
I_b/A	I_p/A	F/Hz	t_c/s	L/mm
10 ~ 40	30 ~ 100	50 ~ 80	2 ~ 8	2.0

试验得到弧光光强数据的原始波形如图 3 所示,图 3a、b 分别对应第 3、4 变频扫描周期中检测信号变化较为剧烈时刻,在 2 个变频扫描周期内,弧光光强数据的幅值变化波形如图 4 所示,图中数据线条 1 为弧光光强幅值随变频扫描周波数的变化,数据线条 2 表示该时刻变频扫描周波对应的变动焊接电流频率值。从波形幅值数据的变化可以明确如下 3 点规律。

(1) 变频扫描周期内检测到的弧光光强在某一时刻出现明显的衰减,表现为数据幅值的急剧下降,



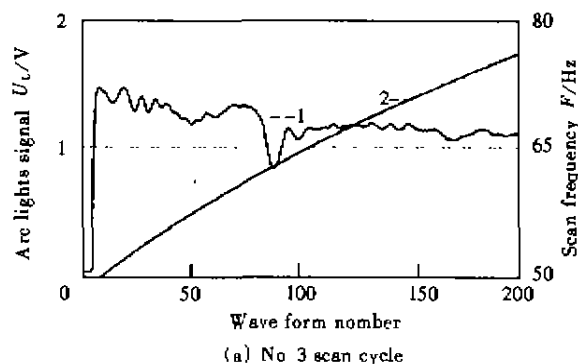
(a) No. 3 scan cycle



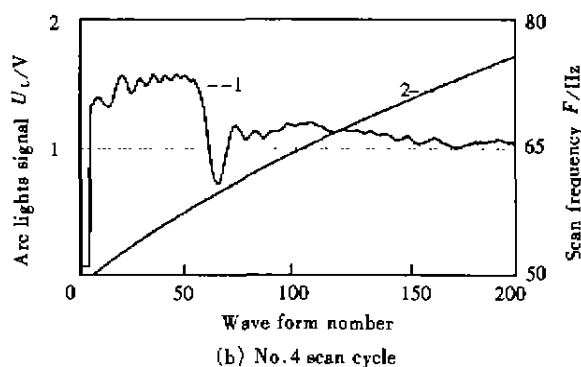
(b) No. 4 scan cycle

图3 弧光光强信号在熔池谐振点附近的变化

Fig.3 Varying of arc light signal at weld pool resonance



(a) No. 3 scan cycle



(b) No. 4 scan cycle

图4 定点焊接熔池谐振采样信号

Fig.4 Weld pool resonance signal of stationary arc welding with variable frequency current

而后又逐渐恢复。从已做过的研究工作可以明确^[3],弧光光强幅值的这一明显衰减表示熔池在此时刻产生了谐振。

(2) 同一变频扫描周期内,低频段弧光光强数值较高,而高频段弧光光强数值较低,整体表现为下降趋势。

(3) 在不同变频扫描周期,熔池谐振信号出现在

不同时刻,随扫描周期的延伸,定点焊接熔池不断增大,熔池谐振点向低频段过渡。

第 1 变频扫描周期由于熔池较小,没有明显的熔池谐振信号。在随后的各个变频扫描周期内,熔池谐振信号出现的重复性较好。

焊接参数对熔池谐振信号水平有较大影响,熔池谐振信号随变动电流幅值的增大而增强,基值电流在 30 A 以下时,随基值电流的增加熔池谐振信号增强,扫描周期的选择必须使焊接熔池处于合适的尺寸范围内,保证熔池固有振荡频率为扫描频率所覆盖。

2.2 连续行走焊接时熔池谐振信号

以往的薄板 TIG 焊接连续行走熔透控制,若利用熔池振荡原理,一种方法是利用瞬间脉冲电流作用于熔池,瞬间变化的电弧力激振熔池使其产生阻尼振荡,由于激振源只是短时间作用,脉冲电弧力作用消失以后,熔池形态的变化对熔池振荡有影响,目前尚无很好的应用。另一种方法是采用定频率变动电流焊接,目前在步进行走方式下得到应用。采用变频率电流进行熔池谐振法熔透控制研究,通过检测熔池谐振信号,原理上能够实时测得熔池正以何种尺寸进行谐振,可以避免被动等待熔池谐振信号的出现而导致控制性能较差的问题。因此如果能够成功地在变频扫描方法中成功地提取到熔池谐振信号,并且在较高的焊速下仍能够可靠检测,对于进行薄板 TIG 焊接熔透控制将会是一项有益的工作。

但是电弧相对工件连续行走时,同样存在熔池形状改变和电弧作用力中心点偏离熔池中心问题,诱发熔池振荡有一定的难度。

采用 2 mm 厚低碳钢板进行试验,焊接时底部悬空。采用表 1 所示焊接规范,通过不同的参数组配进行多组试验。为了在连续行走时提取到熔池谐振信号,目前选择的焊接速度较小。引弧后预加热一定时间,然后行走机构开始行走,开启正弦波信号输出,同时计算机采集电弧弧光光强数据。图 5 和图 6 分别为焊接行走速度 50 mm/min 和 80 mm/min 时的电弧弧光光强幅值采样数据。其规范参数为 $I_b = 20$ A,扫描时间 $t_c = 3$ s。可以看出弧光光强幅值的变化过程和定点焊接时基本相同,区别是行走焊信号幅值衰减量比定点电弧时小,熔池形状改变和电弧作用力偏移是导致熔池振荡水平降低的主要原因。

在比较低的速度下,多次试验证实这种现象的产生具有很好的重复性,采用 2 mm 低碳钢板,适当改变焊接电流和扫描时间均能得到相似的结果,这表明这种现象的真实性。

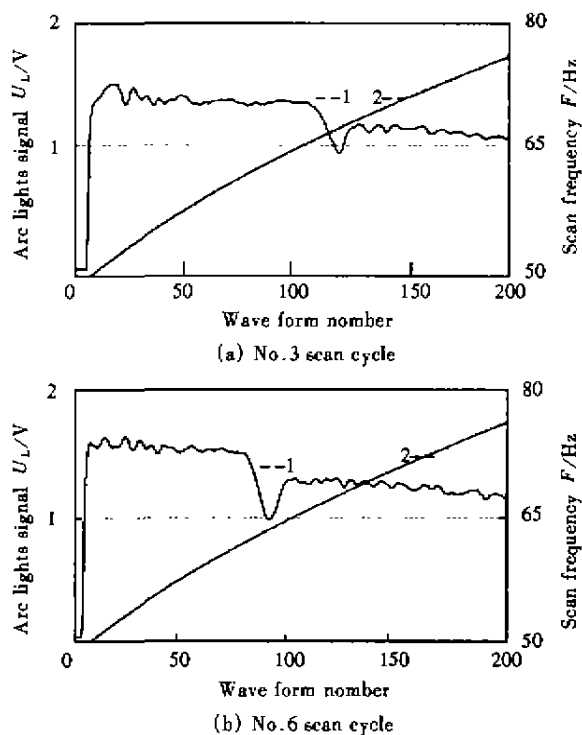


图 5 焊接速度 50 mm/min 时的弧光光强幅值变化
Fig.5 Arc light amplitude at welding speed 50 mm/min

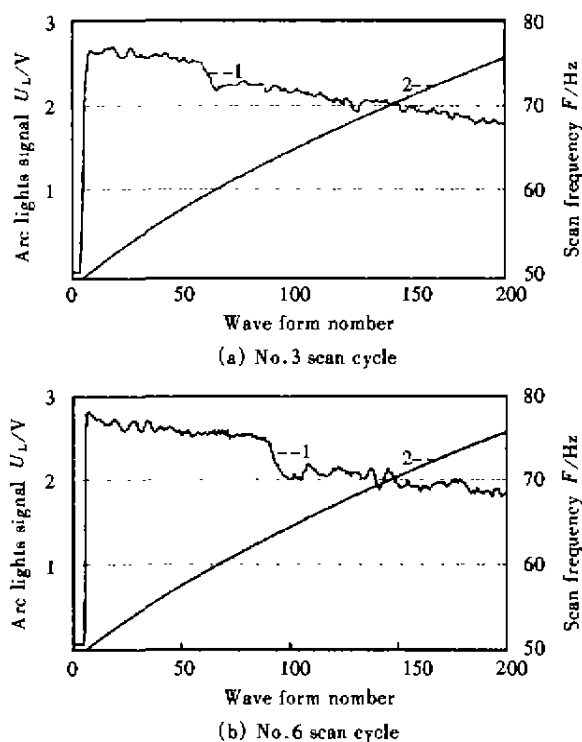


图 6 焊接速度 80 mm/min 时的弧光光强幅值变化
Fig.6 Arc light amplitude at welding speed 80 mm/min

连续行走的目的是为了提高焊接速度。由于连续行走焊接时熔池谐振信号水平小于定点焊接时的谐振信号水平,所以采用的变动电流幅值 I_p 要大于定点时 I_p , 增加变动电流对熔池的激振能力,同时采用较小的基值电流。在平板堆焊的情况下,以目

前的试验设备在焊接速度小于 100 mm/min 时均可以检测到谐振信号。

在变动电流值不变的情况下,改变焊接行走速度,焊缝的线能量相应变化,焊接速度提高,线能量降低,在连续行走电弧作用下形成的熔池体积小,有可能超出焊接电流频率范围。焊接速度从 30 mm/min 开始,以 5 mm/min 为递增值逐步增加焊接速度,焊速增加,信号水平减弱明显。

变动电流基值对熔池谐振信号有影响, I_b 较小时谐振信号较低,随着 I_b 的增加,信号水平逐渐增加, I_b 达到 20 A 以后,信号水平上升趋势变缓。实际焊接过程中,基值电流的选择有一定的限制, I_b 过小,电弧的稳定性较差,而 I_b 过大,脉动电流又不利于激振熔池,对 1.5 mm 低碳钢板选取的基值电流范围为 15~35 A。

附加正弦波电流幅值 I_p 是产生变动电弧力的直接因素, I_p 值增加,电弧压力中的脉动成分增加,熔池振荡运动得以加强,熔池谐振信号水平增加,但是 I_p 值过大则会造成电弧及熔池形态的恶化,通常取 I_p 小于 100 A。

3 结 论

以焊接电流变频扫描方案进行定点熔池和连续

行走焊接熔池谐振信号提取试验,结果表明随熔池尺寸的不同,熔池谐振出现在不同的频率点,在电弧连续行走时,熔池谐振信号水平小于定点熔池谐振信号水平,并随焊接速度的提高谐振信号逐渐减弱,目前焊接速度在 100 mm/min 时可以实现谐振检测。如进行焊接参数的合理匹配并有效抑制信号干扰及加强对谐振信号的处理,有望进一步提高焊接速度并提高信号重复性,以应用于焊接熔透控制中。

参考文献:

- [1] Renwick R J, Richardson R W. Experimental investigation of GTA weld pool oscillation[J]. Welding Journal, 1983, 62(2): 29s~35s.
- [2] Xiao Y H, Den Ouden G. Weld pool oscillation during WTA welding of mild steel[J]. Welding Journal, 1993, 72(8): 428s~434s.
- [3] Wang Q L, Yang C L and Geng Z. Separately excited resonance phenomenon of the weld pool and its application[J]. Welding Journal, 1993, 72(9): 455s~462s.
- [4] 杨春利,等. TIG 焊熔池振荡与熔透的关系[J]. 焊接学报, 1990, 11(4): 194~198.
- [5] 杨春利,等. TIG 焊弧光传感弧长控制的研究[J]. 材料科学与工艺, 1998, 6(1): 50~53.

作者简介: 杨春利,男,1962 年出生,1984 年哈尔滨工业大学焊接专业本科毕业,工学博士,副教授。从事焊接电弧物理、焊接自动化、焊接熔透控制技术研究,发表论文 15 篇,获航天工业总公司科技进步二等奖 1 项。

资 料

1998 年《SCI》论文数最多的前 20 名高校

名称	论文数 (篇)	位次	名称	论文数 (篇)	位次
南京大学	552	1	中山大学	145	11
北京大学	542	2	厦门大学	139	12
中国科技大学	443	3	武汉大学	136	13
清华大学	424	4	北京师范大学	126	14
复旦大学	308	5	四川大学	126	14
浙江大学	243	6	北京医科大学	118	16
南开大学	223	7	上海交通大学	113	17
吉林大学	203	8	东南大学	111	18
兰州大学	188	9	天津大学	101	19
山东大学	168	10	华中理工大学	92	20

1998 年《EI》论文数最多的前 20 名高校

名称	论文数 (篇)	位次	名称	论文数 (篇)	位次
清华大学	576	1	上海交通大学	164	11
浙江大学	290	2	复旦大学	154	12
西北工业大学	235	3	天津大学	149	13
中国科技大学	217	4	北京科技大学	127	14
北京大学	204	5	中南工业大学	119	15
南京大学	203	6	吉林大学	114	16
华中理工大学	185	7	四川大学	114	16
西安交通大学	176	8	华南理工大学	100	18
哈尔滨工业大学	170	9	北京航空航天大学	99	19
东南大学	166	10	东北大学	98	20

(摘自《中国科技论文统计与分析》)