

小电流TIG焊电弧磁控特性的研究

张九海副教授 王其隆教授 韦伟平硕士

(哈尔滨工业大学)

摘 要

本文针对小电流TIG焊时,电弧漂移稳定性差问题,用外加横向磁场控制电弧进行了研究,观察外加磁场频率(0~10kHz)对电弧形态的影响。外加低频磁场时,电弧与外加磁场同步摆动,电弧形态扩展;外加中频磁场对电弧有较强的镇定作用;外加高频磁场对电弧有明显的压缩作用,使电弧挺度增大;电弧能量密度及电弧电压数值增加。提高控制磁场强度,会加剧上述现象。焊接工艺实验结果表明,利用合理的交变磁场,能抑制电弧的漂移现象,提高电弧的稳定性,明显地改善了薄板焊接工艺性能及焊缝成形。

关键词 dian ci piao
电弧 磁感应 漂移

0 序 言

薄件小电流TIG焊,当焊接电流小于十几安培时,由于电弧斑点的运动及粘着性,使焊接电弧不稳,容易发生飘移,不能得到满意的焊缝。目前人们普遍采用微束等离子弧及高频脉冲电流TIG焊等方法,使电弧受到压缩,提高电弧的挺度及稳定性。使薄件焊接可以取得较好的效果。但等离子弧焊接设备比较复杂,小电流高频TIG焊时,电弧压缩较弱,因此研究用外加磁场对小电流TIG焊时电弧形态、压缩作用及焊缝成形的特点,有重要的意义。磁控电弧已经成功的用来改善焊缝质量^{1、2、3}。试验用的是外加横向磁场,其方向垂直于电弧轴线,且平行于焊接方向。实验结果表明,在小电流TIG焊时,这种外加平行横向磁场,可以明显改善电弧形态,抑制电弧的飘移,改善焊缝成形,具有较好的焊接工艺效果。

1 实验原理及装置

本实验采用自制的晶体管电源,控制系统框图如图1所示。该电源具有恒流特性。

可以达到以下技术指标:

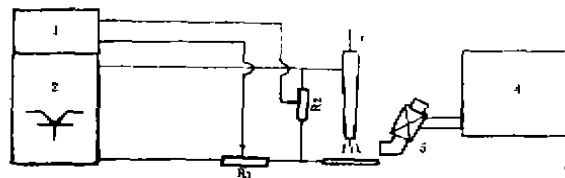


图1 实验设备原理示意图

1.控制电路 2.电源 3.焊枪 4.磁控电极 5.磁板

电弧电流 $I_a = 1 \sim 50 \text{ A}$ 控制精度为 1 %

空载电压 $U_0 = 80 \text{ V}$

该电源可自动补偿电网波动, 当电网电压波动 10 % 时, 输出电流波动小于 1 %。

外加横向磁场, 使磁力线方向垂直于焊接电弧轴线, 平行于焊接方向。由洛伦兹力可知, 此时电弧受到力 $\vec{F} = q \vec{v} \vec{B}$ 的作用 (q 为电荷量、 $\vec{v}$ 电子运动速度、 $\vec{B}$ 磁感应强度)。改变磁场的方向, 则可以改变作用力的方向, 改变电弧电流或激磁电流强度的数值, 可以改变电弧受力大小及电弧偏摆的程度。小电流 TIG 焊时选用合适的外加磁场频率和激磁电流, 使电弧在磁场的作用下以一定规律运动, 无法自由飘移, 达到稳定小电流焊接电弧和改善焊缝成形的目的。按上述原理研制了相应的磁极, 它与焊炬的相对配置如图 2。磁极材料由薄硅钢片组成, 激磁线圈匝数为 300 匝, 激磁电流可在 $0 \sim 1 \text{ A}$ 之间变化, 激磁电流波形为方波交流。电流频率可在 $1 \sim 10 \text{ kHz}$ 之间任意变化。焊接在自动焊小车上进行, 整个系统由微机控制。用 $\phi 1 \text{ mm}$ 钍钨极, 氩气保护, 试片为 $0.2 \sim 0.3 \text{ mm}$ 的不锈钢片。

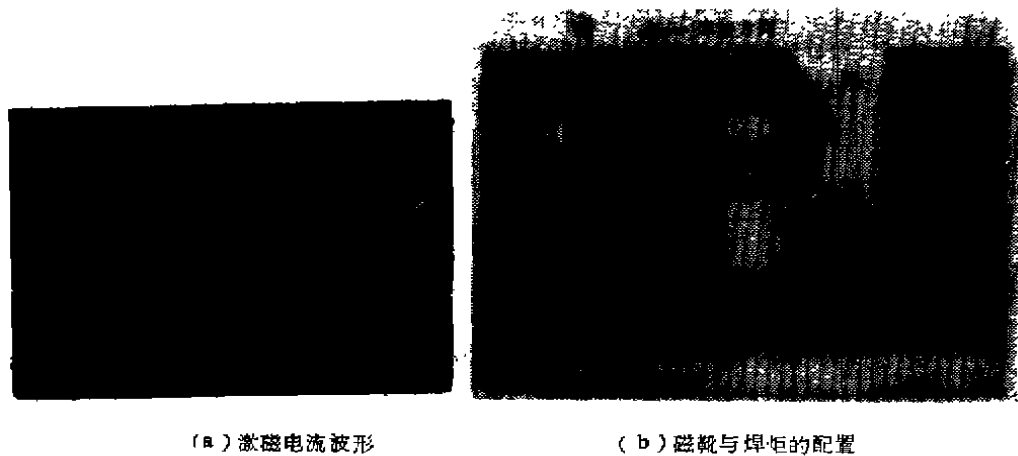


图 2 激磁电流波形与磁极焊炬的配置图

2 实验结果

2.1 外加磁场频率对电弧形态的影响

外加磁场频率可以在 $1 \sim 10 \text{ kHz}$ 范围变化。实验焊接电流为 10 A , 弧长为 3 mm 。实验表明在磁场强度一定的情况下, 不同频率的磁场作用于电弧, 可以引起电弧形态的一系列变化。随着磁场频率的变化, 电弧形态的变化如图 3 所示。由图可以看出当磁场频率 $f < 850 \text{ Hz}$ 时, 电弧将沿焊缝中心左右摆动。图 3b 为电弧摆到一侧时的电弧形态。随着磁场频率的增加, 肉眼看不清电弧摆动的情况, 但电弧阴极区明显扩展, 电弧呈扇形。磁场频率在 $30 \sim 850 \text{ Hz}$ 范围变化时, 电弧保持这种形态, 但弧柱直径随频率的增加而缓慢的减少。当外加磁场频率大于 850 Hz 时, 电弧宏观形态与不加磁场的自由电弧形态相似, 但由于电弧受磁场的约束作用, 此时电弧飘移困难, 电弧稳定性比不加磁场的



(a) 自由电弧

(b) $f=30\text{Hz}$ $I_b=0.3\text{A}$ (c) $f=10\text{kHz}$ $I_b=0.3\text{A}$

图3 外加磁场频率对电弧形态的影响

自由电弧明显提高。外加磁场频率为 $1\sim 5\text{kHz}$ 时, 电弧基本保持这种状态。当外加磁场频率增加到 5kHz 以上时, 电弧发生收缩现象。随着外加磁场频率的增加, 电弧更加收缩。如图3c所示。测量不同频率磁场对电弧电压的影响结果表明, 在弧长及焊接电流不变的情况下, 随着外加磁场频率及磁场强度的增加 (增加磁场激磁电流), 电弧电压数值增加, 如图4所示。这表明当外加横向磁场频率达到一定数值以后, 则随着磁场频率和激磁电流的增加, 电弧电压增加, 说明磁场强度和磁场频率可以增加电弧的能量密度。

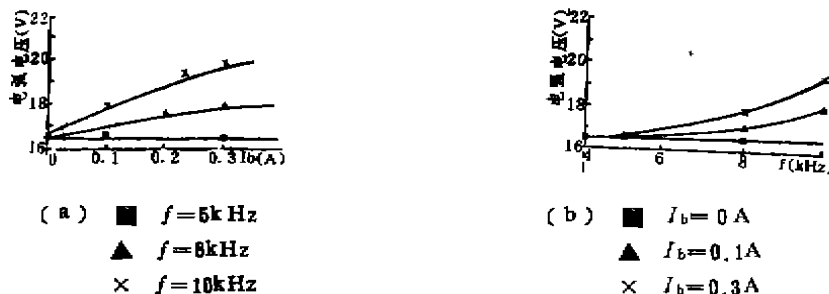
(a) ■ $f=5\text{kHz}$
▲ $f=8\text{kHz}$
× $f=10\text{kHz}$ (b) ■ $I_b=0\text{A}$
▲ $I_b=0.1\text{A}$
× $I_b=0.3\text{A}$

图4 外加磁场频率及激磁电流对电弧电压的影响

2.2 外加磁场对电弧飘移的抑制作用

在小电流薄件TIG焊时, 为了检验横向平行磁场对电弧的抑制作用, 选焊接电流为 5A , 行走速度为 160mm/min 。在不锈钢片上进行堆焊实验, 结果表明, 在无磁控的条件下, 由于电弧阳极斑点的飘移, 使焊缝成形极不规则, 电弧沿焊缝中心移动稳定性很差, 加入低频交变磁场, 可使电弧沿焊缝左右摆动, 外加磁场频率增加, 将使电弧沿焊缝横向摆动幅度减小, 可以明显改善电弧对焊缝中心的适应性。

为了进一步证实交变磁场对电弧飘移现象的抑制作用, 进行了三绝缘阳极实验, 实验的原理是利用一条中间很窄的阳极 (片厚为 0.15mm), 当电弧行走飘移偏离中间阳极时, 则焊接电流信号偏向一侧, 从不同阳极的电流分布及其变化规律, 可以判断阳极斑点的跳动及电弧稳定性, 实验装置如图5。焊接电流流经中间阳极量大小及其规律性, 表征电弧飘移程度的大小。用记忆示波器和光线示波器记录实验结果, 焊接电流

10A, 焊接速度为50mm/min。焊接实验时, 电弧沿中间阳极行走, 当电弧偏向一侧时, 则中间阳极的电流信号发生变化。外加不同频率磁场时, 电流信号变化情况如图6所示。当没有外加磁场时, 小电流电弧飘移, 因而电弧在中间阳极上的电流信号极不规则, 如图6a。当外加磁场的频率为1Hz时, 电弧受到磁场的控制, 但仍有随机飘移的倾向如图6b; 当外加磁场频率增加时, 外加

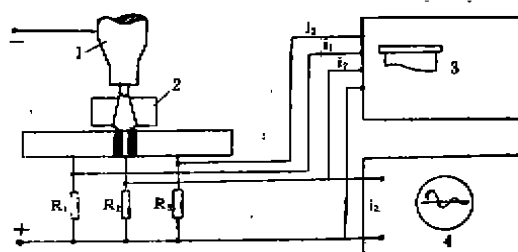
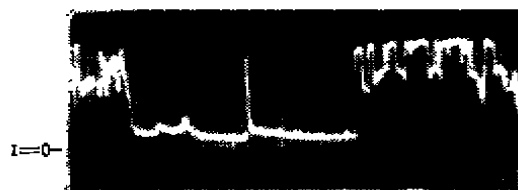
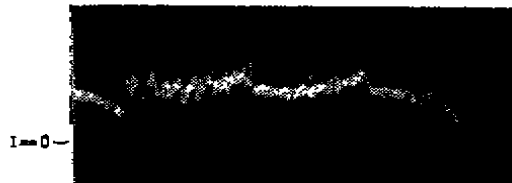


图5 三绝缘阳极实验装置示意图

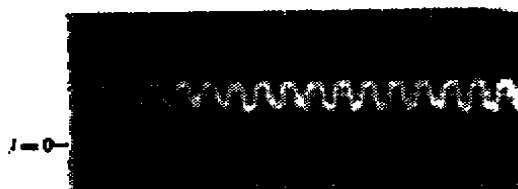
1.焊枪 2.磁环 3.光线示波器 4.记忆示波器



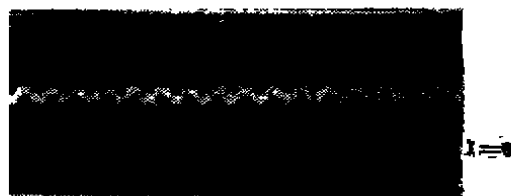
(a) 无磁场



(b) $f=1\text{Hz}$ $I_b=0.3\text{A}$



(c) $f=10\text{Hz}$ $I_b=0.3\text{A}$



(d) $f=50\text{Hz}$ $I_b=0.3\text{A}$



(e) $f=100\text{Hz}$ $I_b=0.3\text{A}$



(f) $f=10\text{kHz}$ $I_b=0.3\text{A}$

图6 磁场对电弧飘移的抑制作用

磁场对电弧飘移的抑制作用明显增强, 使电弧不易偏摆。因此使中间阳极上的电信号只有小的摆动, 而保持一个相对的稳定值。如图6c~f。这与前述结果是一致的。

2.3 外加磁场能改善焊缝成形

对0.16mm厚的不锈钢片, 必须用小于8A的电流进行焊接, 由于电流太小, 造成电弧飘移不稳, 使焊道边缘不齐, 而用外加横向磁场强制电弧摆动, 则可以改善电弧的挺度及焊缝成形的情况, 图7为外加横向磁场频率对焊缝成形影响的典型照片。无外加磁场时, 焊缝表面成形较差, 焊道宽窄不均匀, 如图7a, 加入横向磁场后, 则焊缝成形

有明显的变化,外加低频磁场时(小于50Hz),电弧受磁场控制强制摆动,焊缝成形有类似脉冲焊的特点,如图7b、c、d。以上结果表明,外加一定频率的横向磁场,可以控制和稳定电弧,并改善焊缝成形。

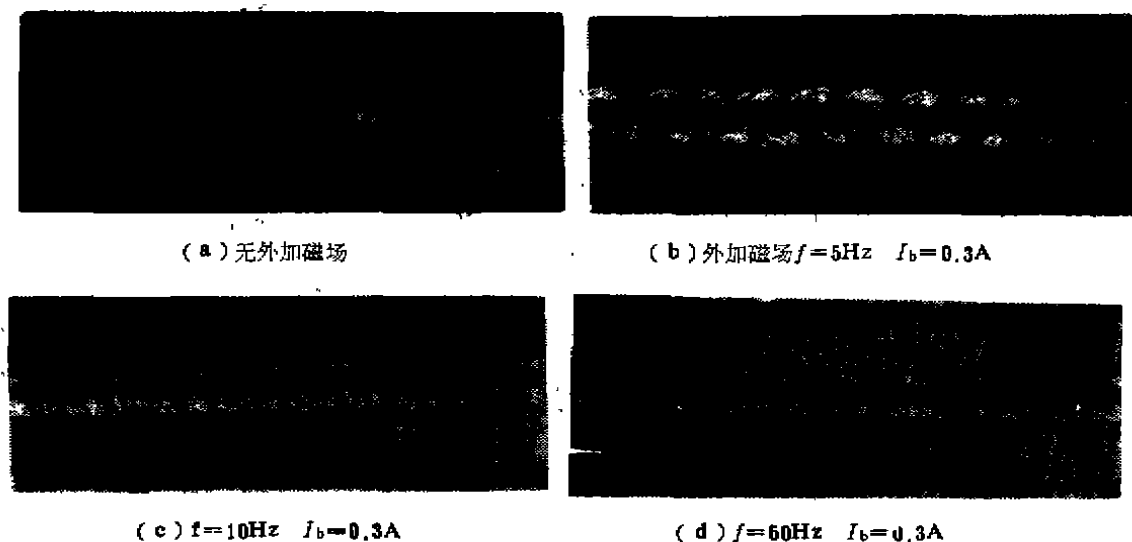


图7 外加磁场频率对焊缝成形的影响

外加横向磁场的频率同焊道宽度之间有一定的关系。外加横向低频磁场时,焊道宽度与外加磁场强度成正比。外加高频磁场时,随着磁场强度的增加,电弧受到较强的压缩作用,则焊道宽度与外加磁场强度成反比。

3 结果讨论

一般情况下,横向磁场只能使电弧偏转、摆动,低、中频磁场可以使电弧扩展,外加磁场频率更高时,由于惯性作用可使电弧保持一定的形态而控制飘移。但当外加磁场频率高于5kHz以上时,电弧形态受到压缩的原因,可以从电弧与磁场的相互作用来解释。电弧为一等离子体,是一种抗磁体,即抵抗磁场的变化,当外加磁场突然增加时,磁场并非瞬间充满整个等离子体,而是从等离子体外围逐渐向内部扩散。磁感应强度 B 表现为一定的磁压力,其数值大小与磁导体中的磁能密度有关^[4],即:

$$P = \frac{B^2}{2\mu_0}$$

式中 P ——某点的磁压强

B ——磁感应强度

μ_0 ——导磁系数

当磁场变化频率介于1kHz~5kHz时,磁场变化速度远小于磁扩散速度,使电弧等离子体内外磁压力相平衡($\frac{B^2_{\text{内}}}{\mu_0} = \frac{B^2_{\text{外}}}{\mu_0}$),不产生磁压缩效果。如果磁场频率高到一定程度,如 $f > 5\text{kHz}$,则磁场快速变化,磁场来不及扩散到整个电弧等离子体内,这将造

成电弧等离子体内外磁场分布不均,即等离子体弧柱外侧的磁感应强度高于弧柱内的磁感应强度,示意如图8。因此造成电弧内外侧的磁压力差:

$$\Delta P = \frac{B_{\text{外}}^2}{2\mu_0} - \frac{B_{\text{内}}^2}{2\mu_0} = -\frac{1}{2\mu_0} (B_{\text{外}} + B_{\text{内}}) (B_{\text{外}} - B_{\text{内}})$$

该压力差将使电弧收缩。由上式可知, $(B_{\text{外}} - B_{\text{内}})$ 表征磁扩散现象引起磁场分布不均匀的程度, $(B_{\text{外}} + B_{\text{内}})$ 则表征外加磁场的强弱,由此可以看出磁场频率的增加将引起磁分布不均匀,使 $(B_{\text{外}} - B_{\text{内}})$ 项数值加大;增加总体磁场强度,将使 $(B_{\text{外}} + B_{\text{内}})$ 数值增加,这两项作用的结果都使 ΔP 增加,从而使电弧压缩。这与所得实验结果是吻合的。这一现象的发现使人们对焊接电弧与磁场相互作用有了新的认识,它提供了一种简单压缩电弧提高其能量密度的途径。

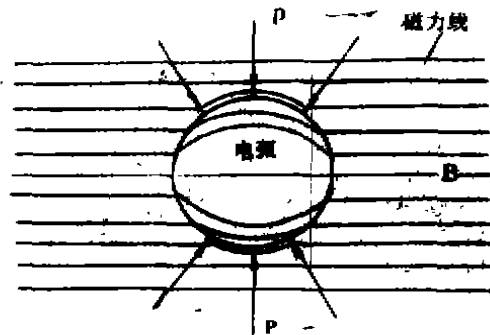


图8 磁场扩散及压力示意图

4 结 论

(1) 外加横向交变磁场,可以显著的影响电弧形态及电弧能量密度。低频交流外加磁场可以使电弧摆动,而高频交流外加磁场又可以使电弧收缩。随外加磁场强度的增加这种收缩效应逐渐加剧。

(2) 外加横向磁场,能够有效的抑制小电流电弧随机飘移现象,使电弧稳定,可以改善小电流TIG焊时电弧稳定性和焊缝成形。

(1989年6月20日收到修改稿)

参 考 文 献

- 1 Hicken G K. Application of Magnetically Controlled Welding Arc. Welding Journal, 1976, 42 (4): 264~268
- 2 Willgoss R A. A Practical Future for EM Stirring of the Welding pool. Welding and Metal Fabrication, 1981, 49 (4): 189~196
- 3 Акупов А Н著. 第五设计研究院编译, 用横向磁场控制焊接熔池的液体金属。磁场焊接译文集, 北京: 机械工业出版社, 1975。
- 4 孙杏凤. 等离子物理基础。北京: 高等教育出版社, 1983。

A STUDY OF THE CHARACTERISTICS OF MAGNETIC CONTROL FOR LOW CURRENT TIG WELDING

Associate Professor Zhang Jiuhai,

Professor Wang Qilong,

Master Wei Weiping

(Harbin Institute of Technology)

Abstract

In this paper, the problems of arc wandering and instability have been studied with extra transversal magnetic field for low current TIG welding. The influence of extra magnetic field frequency (0~10kHz) on the arc appearance has been observed. The arc swing is in synchronism with magnetic field in low frequency, so the arc appearance is expanded. The arc is calmed in medium frequency, and is compressed in high frequency, thus increasing the arc energy density, the arc stiffness and the arc voltage. When other conditions remain unchanged, with increased intensity of magnetic field the said phenomena are intensified accordingly. Experiment results of welding thin sheet indicate that by using magnetic field to control the arc, the wandering of arc can be restrained and the arc stability and shape improved markedly.

Key Words Arc Magnetic induction Drifting