

旋转磁场作用下的 TIG 焊电弧运动特征

北京工业大学机电学院(100022) 陈树君 华爱兵 殷树言 白绍军

摘要 将旋转磁场应用于 TIG 焊电弧,用高速摄像研究了励磁转换频率、励磁电流大小以及励磁相序对 TIG 焊电弧运动特征的影响规律,并分析了这些磁场参数改变电弧运动行为的原因。

关键词: 旋转磁场 电弧 励磁电流

ARC MOVEMENT CHARACTERISTICS OF TIG WELDING IN A ROTATING MAGNETIC FIELD

College of Mechanical Engineering and Applied Electronics Technology

Chen Shujun, Hua Aibing
Yin Shuyan, Bai Shaojun

Abstract The rotating magnetic field was applied to arc of TIG welding. The effect laws of exciting inversion frequency, current value and phase sequence on arc movement characteristics of TIG were studied by the high speed camera. The reason that these magnetism parameters can change arc movement was analyzed.

Key words: rotating magnetic field, welding arc, exciting current

0 引言

电弧等离子体的良好导电性,决定了外部磁场对它的可作用性,也就是说可以通过外加磁场来改变电弧的形状和位置,或者是控制电弧的运动。例如利用横向磁场使电弧前倾或摆动,利用尖角磁场压缩电弧,利用纵向磁场旋转电弧等^[1~3]。但是,传统的磁控焊接技术大多采用恒定或低频(十几赫兹左右)磁场。文中突破了传统用静态磁场控制电弧的“以静制动”的思路,采用一个快速旋转的强磁场带动电弧自转,通过改变磁场参数来控制电弧的运动行为。

1 磁控电弧旋转磁场的产生机理

根据步进电动机原理,在空间摆布相差一定角度的几对磁极,并在磁极上装有励磁线圈绕组,当励磁线圈中通过相差一定相位的励磁电流时,磁极所包围的空间内就会产生旋转磁场,其中旋转磁场的形态由导磁铁芯的安装位置决定,旋转磁场的频率取决于励磁线圈的励磁转换频率 f ,而旋转磁场的强弱由励磁电流 I_c 的大小来调节^[4]。

文中采用三对磁极(图1)均匀分布在同一圆周上,并对磁极上的励磁线圈采用三相单六拍的励磁顺

序供电,将产生如图2所示的旋转磁场,其中图2a、图2b、图2c、图2d、图2e、图2f分别表示一个周期内各个时刻的磁场方向示意图。由此可见,该装置产生的旋转磁场为横向旋转磁场,而且磁场与励磁电流的相位变化同步,也就是说可通过改变励磁电流的转换频率来改变旋转磁场的转速。

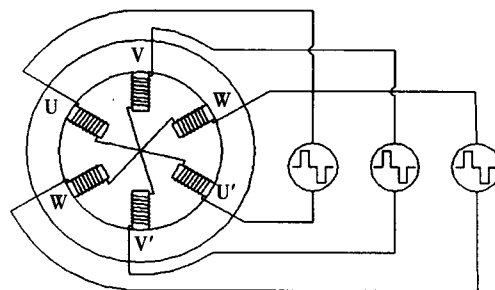


图1 旋转磁场发生装置简图

2 试验条件

试验装置如图3所示,其中焊接电源采用逆变式直流氩弧焊机WS-315,焊接电流为10~315A,空载电压为70V。励磁电源为自行设计,励磁电流为0~5A,励磁转换频率 f 为50~600Hz。阳极采用水冷铜

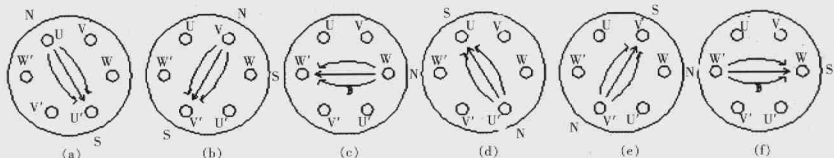


图2 旋转磁场的产生过程示意图

块。高速摄像机采用 ULTRO1000 型柯达高速摄像机, 最高拍摄速度为 10 000 幅/秒。由于试验采用直拍方式, 因此不需要设置背光源。

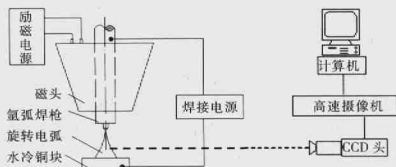


图3 试验装置简图

3 试验结果及分析

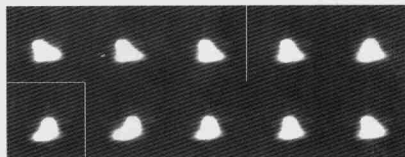
在外加磁场的作用下, 电弧的运动行为主要由磁场参数决定, 因此试验采用直流正接, 并保持焊接电流、弧长和钨极直径等参数不变, 仅通过调节励磁电流和励磁转换频率大小来考察旋转磁场对 TIG 焊电弧运动行为的影响特点。表 1 为试验所采用的一些固定参数。

表1 焊接过程中所采用的固定参数

固定参数	焊接电流 I/A	弧长 L/mm	钨极直径 d/mm
参数值	50	7	1.2

3.1 励磁转换频率 f 对 TIG 焊电弧运动特征的影响

图 4 为 $I_e = 3 A$, $f = 50 \text{ Hz}$, 拍摄速度为 500 幅/秒, 电弧在一个旋转周期内的运动行为的高速摄像图片。由图 4 可知, 与未加磁场相比, 焊接电弧不再保持静止状态, 而是在旋转磁场的“带动”下作旋转运动, 并且电弧的旋转频率与励磁转换频率相同。

图4 $f = 50 \text{ Hz}$ 时, 电弧在一个旋转周期内的运动行为

改变励磁转换频率 f 后, 通过多组高速摄像可以发现, 电弧的旋转频率和旋转半径随着 f 的变化而变化, 其中电弧的旋转频率等于励磁转换频率 f , 而电弧的旋转半径与 f 之间的关系比较复杂, 在磁场旋转频率较低时, 用肉眼观测就可以发现电弧发生强烈的摆动, 并且容易熄灭, 所以文中在 50 ~ 600 Hz 的磁场旋转频率对 TIG 焊电弧的运动行为进行了定量研究。

在旋转磁场的作用下, 焊接电弧绕钨极轴线作旋转运动。但是由于曝光过强, 高速摄像的图片中钨极尖端很不清晰, 这里用图像明亮区的最上端代替钨极尖端(此时会产生微小的偏差)。为了便于量化励磁转换频率 f 与电弧旋转半径之间的关系, 以及便于比较施加磁场前后电弧形态的变化情况, 此处将电弧旋转半径用钨极轴线到电弧边缘之间的距离近似表示, 如图 5 中的距离 R 。

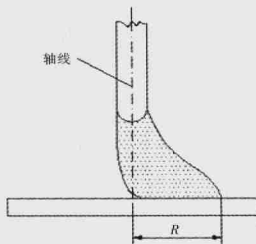


图5 电弧旋转半径的近似表示

图6为励磁转换频率 f 与电弧旋转半径 R 之间的关系。从中可以看出,在励磁电流 $I_e = 3\text{ A}$ 的情况下,未加磁场时,电弧的半径为 5.5 mm 。当施加旋转磁场后,焊接电弧的旋转半径 R 立即增大,但是随着励磁转换频率的增大, R 反而减小,在该试验的励磁转换频率范围内,电弧旋转半径始终大于未加磁场时的电弧半径。

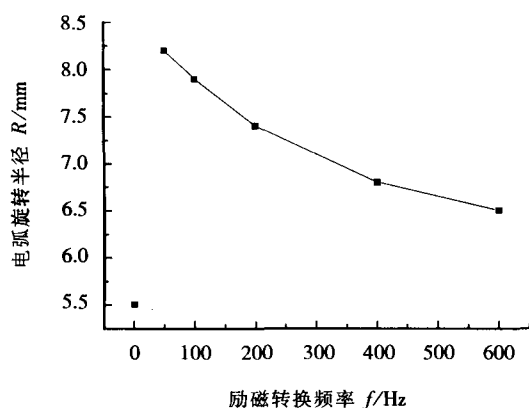


图6 $I_e = 3\text{ A}$ 时, f 与 R 的定量关系

由于试验所采用的旋转磁场实质上是横向旋转磁场,相应地旋转电弧为磁偏旋转弧,焊接电弧的旋转运动本质上是由横向旋转磁场与电弧等离子体的洛伦茨力所引起的电弧圆周摆动,因此电弧的旋转半径大于未加磁场时电弧的半径。当励磁转换频率 f 提高时,电弧摆动加快,但由于电弧的阳极斑点的粘着作用,焊接电弧的摆幅将减小^[5],所以电弧的旋转半径反而变小。

3.2 励磁电流 I_e 对TIG焊电弧运动特征的影响

当旋转磁场的频率保持恒定,仅改变励磁电流 I_e ,相应地焊接电弧的形态也发生了变化,但是焊接电弧的旋转频率保持不变。图7为保持 $f = 50\text{ Hz}$ 不变,励磁电流与电弧旋转半径 R 之间的定量关系。随着励磁电流 I_e 的增大,电弧旋转半径 R 增大,当 I_e 增大到 5 A 时,电弧旋转半径几乎是未加磁场时电弧半径的2倍。但是电弧旋转半径增大的幅度与励磁电流之间的关系还需作进一步的研究。

由于电弧的旋转是由电弧的圆周摆动引起的,从宏观上分析,当励磁电流 I_e 增大时,磁场与电弧等离子体之间的洛伦茨力增大,因此焊接电弧的摆幅增大,相应地电弧的旋转半径 R 增大。

3.3 励磁顺序对TIG焊电弧运动特征的影响

改变励磁电流的相序后,旋转磁场的方向发生了改变,通过观察水冷铜阳极表面电弧的旋转痕迹发现,

焊接电弧的旋转方向也发生了改变,这说明焊接电弧的旋转方向仅与励磁电流的相序有关。

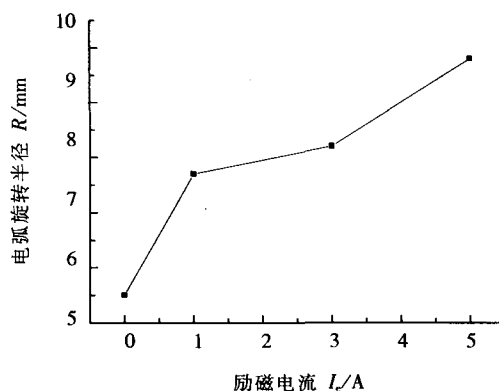


图7 $f = 50\text{ Hz}$ 时, I_e 与 R 的定量关系

4 结 论

(1) 施加旋转磁场后,TIG焊电弧不再保持静止状态,而是在旋转磁场的“带动”下作旋转运动。

(2) 焊接电弧的旋转频率等于励磁转换频率,旋转方向取决于励磁顺序。

(3) 焊接电弧的旋转半径与励磁转换频率和励磁电流有关。当励磁转换频率增大时,电弧旋转半径减小;当励磁电流增大时,电弧旋转半径增大。产生这一现象的主要原因在于焊接电弧的旋转运动本质上是由横向旋转磁场与电弧等离子体的洛伦茨力所引起的电弧圆周摆动。

参 考 文 献

- [1] 殷树言. 气体保护焊技术问答[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [2] 过增元, 赵文华. 电弧和热等离子体[M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- [3] [苏]阿勃拉洛夫, 阿勃杜拉赫曼诺夫. 电磁作用焊接技术[M]. 韦福水, 路登平, 译. 北京: 机械工业出版社, 1988.
- [4] 陈树君, 王学震, 华爱兵, 等. 磁控电弧旋转磁场发生装置的设计[J]. 电焊机, 2006(5): 47-50.
- [5] 张九海, 王其隆, 韦伟平, 等. 小电流TIG焊电弧磁控特性的研究[J]. 焊接学报, 1990(1): 43-48.

(收稿日期 2006 08 16)

作者简介: 陈树君, 1971年出生, 工学博士, 博士后, 副教授。主要从事新型焊接电源、电力电子技术、电磁兼容技术、电源可靠性及焊接电弧物理等方面的研究工作, 在国内学术期刊和会议上已发表论文50余篇。