

参数可调多斜率波控 GMAW

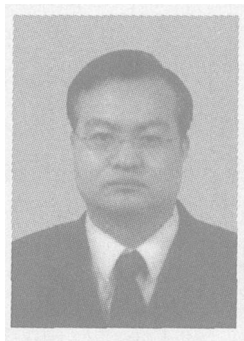
孙 广¹, 何建萍¹, 张春波¹, 白日辉¹, 吴毅雄^{1 2}

(1. 上海交通大学 焊接工程研究所, 上海 200030 2 金属
基复合材料国家重点实验室, 上海 200030)

摘 要: 从波形控制参数的角度分析了影响短路过渡 GMAW 焊接稳定性的因素, 并在此基础上设计了一种短路电流上升斜率可调节的多斜率波形控制方法。结果表明, 通过对各阶段波控参数精确的调节, 可以为适应不同的工艺条件而微调焊接工艺规范的情况下通过调节短路电流的上升速度和控制时间, 增加规范的适应性, 保持焊接过程的稳定性; 有效的提高 GMAW 的焊接性能, 可以更好的满足不同的焊接工艺的要求。

关键词: 波控参数; 可调节; 多斜率; GMAW

中图分类号: TG434.1 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2005)03-63-04



孙 广

0 序 言

短路过渡是在 GMAW 中普遍采用的一种过渡形式, 在生产中得到广泛应用, 但其存在焊接飞溅大, 焊缝成形差, 熔深浅等问题, 影响了它的焊接性能, 阻碍了它的进一步推广。国内外焊接工作者从各方面寻求解决的方案, 波形控制技术是最常用的方案之一, 如脉冲波形自适应控制、智能控制^[1]、STT 控制法等^[2], 且效果显著。然而同时也存在波控参数, 特别是短路电流上升斜率及控制时间调节性不好, 适用性不强等缺点。

因此为更有效的提高 GMAW 的焊接性能, 且针对对不同焊接工艺的要求提高波控参数的适用性, 波控技术中各过程的控制参数选择及调节就显得尤为重要。

1 短路过渡 GMAW 对波形控制的要求

1.1 电源动特性指标

短路过渡 GMAW 的电源动特性指标如下^[3]:

- (1) 短路电流增长速度 di/dt ;
- (2) 短路电流峰值 I_m ;
- (3) 短路初期的电流值;
- (4) 燃弧与短路期间的能量比 E_a/E_{sc} 。

当 di/dt 合适时, 发生短路后, 熔滴可以柔顺于熔池接触, 建立起稳定的液态金属小桥, 并且在短路后期焊丝与熔滴之间发生缩颈, 随后在较低的峰值

电流 I_m 下断开, 并伴随着较小的飞溅, 这时的飞溅大小主要决定于短路峰值电流 I_m 。 I_m 越小, 则飞溅也越小。

而且在焊接规范或焊接工艺条件发生变化时, 要求 di/dt 及控制时间亦要随之发生变化以保持焊接过程的连续性及稳定性。

1.2 波形控制原理

波控参数的调节控制过程如图 1 所示。

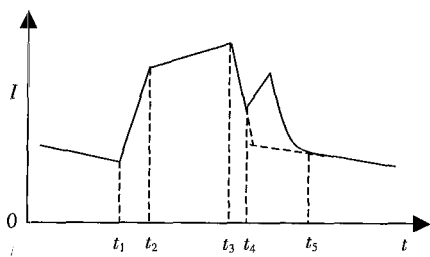


图 1 短路电流波形示意图

Fig 1 Diagram of short current waveform

(1) 在短路开始后 ($t_1 \sim t_2$), 电流以比较大的斜率 di/dt 上升到一个给定值 (低于 150 A) 以便于形成稳定的液体小桥。这一过程非常重要, 因为此时的电流一旦超过 150 A 或是 200 A 时熔化的液态金属将被排斥、抛出熔池而形成较大的飞溅, 并且因为液体小桥不能够稳定的建立起来, 易导致断弧现象的发生。

(2) 在液体小桥形成之后 ($t_2 \sim t_3$), 立即降低电流的上升速度使电流以一个很低的斜率 di/dt 上升。这一方式主要起着两个作用: 首先, 在电流较低

的情况下, 熔滴可以稳定的向熔池中过渡, 并有效的减小熔池金属溢出; 其次, 在短路过程结束之后液体小桥可以在较低的峰值电流 (I_m) 下破断, 所以可以有效的减少此一时刻产生的飞溅。

上述两个过程可以通过调节比例系数 k_i 及时间系数来控制波形曲线的斜率及持续时间以获得合适的效果, 并可根据不同的焊接工艺实时调节。

(3)在焊丝即将和熔池脱离接触的时刻 ($t_3 \sim t_4$)迅速降低电流值, 减少对熔池的振荡, 这一过程将有益于获得良好的焊缝成形。

(4)在燃弧阶段的开始时刻 ($t_4 \sim t_5$), 焊丝将很快的回烧, 此时在加入一个较高的引弧电流 (提高再引弧能量)。这一控制方式可以使电弧稳定的建立起来, 利于焊接过程的稳定, 而且也同样利于形成良好的焊缝。

1.3 波控参数可调节的意义及方法

在焊接过程中, 为适应不同焊接工艺条件满足不同的焊接方式, 以上各阶段的控制参数及控制时间必须是可调节的, 即在一定的焊接规范下, 当因焊接方式的改变需要对规范参数进行微调时, 波形的控制参数也能够做必要的调整以适合这种变化。

现以送丝速度固定, 微调电压为例来说明其调节方法:

GMAW 电流及电压匹配公式为

$$U_o = 14 + 0.05I_o \tag{1}$$

由公式 (1)可知, 当焊接电流 I_o 即送丝速度给定时, 电弧电压值 U_o 也相应的具有一个合适的值。所以当焊接规范选择合适时, 过渡频率恒定, 焊接过

程平稳, 飞溅较小。如不调整短路波控参数及控制时间, 当电压微调低于规范值时, 则易发生顶丝现象, 造成焊丝成段的爆断, 电弧熄灭; 所以这时应该适当提高 $t_2 \sim t_3$ 阶段电流的上升斜率 di/dt 并缩短控制时间使熔滴快速形成缩颈并在相对较高的峰值电流下破断, 利于焊接的连续进行。

而当电压微调值大于规范值时, 由于熔滴尺寸较大, 积聚的能量较多因此一旦与熔池接触, 在强烈的电磁收缩力作用下, 弹回到焊丝端头或是被熔池抛出, 引起大颗粒飞溅甚至断弧。所以此时应适当减小 $t_2 \sim t_3$ 阶段电流上升斜率 di/dt 并相应延长控制时间, 使熔滴与熔池之间形成稳定的液体小桥, 保证熔滴柔顺的过渡。

由以上分析可以看出, 若要提高短路过渡 GMAW 的焊接性能, 对电源动特性的各项指标进行精确的调节是非常必要的。基于此在 DSP 控制的逆变 GMAW 焊机的基础上设计一种可变多斜率波形控制法, 按不同的规范及工艺要求分阶段对电源动特性进行精确的调节, 以获得满意的焊接性能。

2 DSP (数字信号处理器) 控制逆变 GMAW 电源系统构成

文中利用 TM S320F240DSP 芯片对大量数据的快速处理能力, 将其作为 GMAW 电源的控制核心^[4]。以单端正激拓扑结构为主电路; 控制系统包括电压、电流反馈系统, DSP控制系统和接口电路, 短路和燃弧状态检出电路, 送丝机调速及时序控制系统。该逆变电源的原理图如图 2 所示。

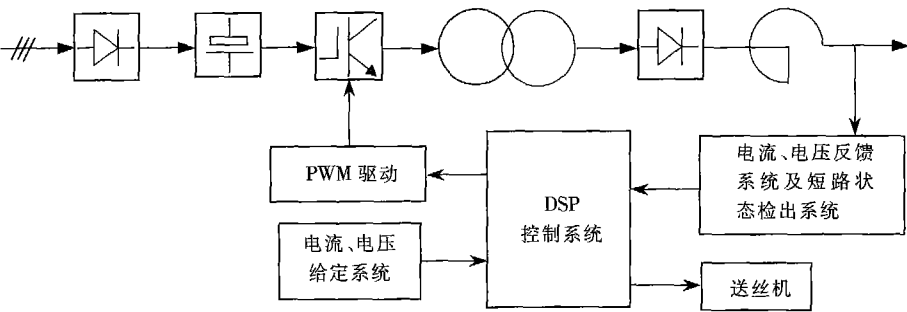


图 2 控制系统原理图
Fig. 2 Diagram of controller system

3 DSP 程控波形参数调节过程

调节方式如图 3 在程序的开始即根据所选定的电流值 I_o 按公式 (1)得出其对应的正常规范的电

压值作为基准比较值 U_{ob} , 同时给定波控系数, 包括各阶段的 di/dt 及控制时间。然后检测实际电压设定值 U_{og} 并与 U_{ob} 相比较, 根据比较的结果对波控参数进行相应的调节。

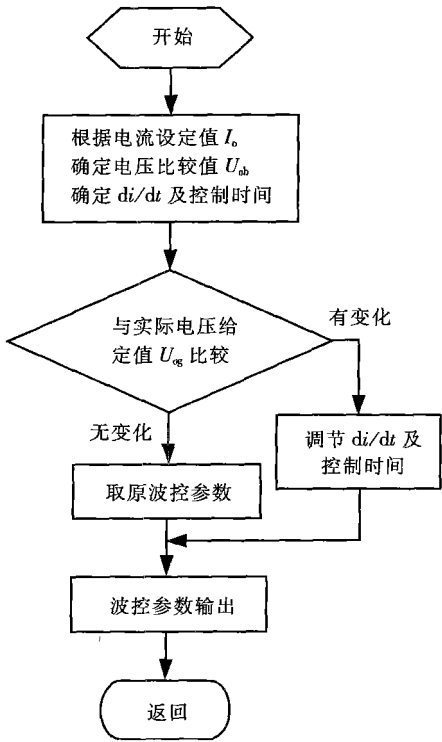


图 3 波控参数调节流程

Fig. 3 Flow chart of wave control parameters regulation

4 实际输出波形分析

图 4a 为按设计输出的电流、电压波形, 该波形不仅飞溅得到有效的控制, 而且因在短路结束后及时的提供了一个再引弧电流从而提高了引弧期与短路期能量比, 改善了焊缝成形, 且熔深较大, 焊缝较宽。

这种控制方法在弧长波动不剧烈的情况下焊接过程非常稳定, 熔滴大小基本一致, 过渡频率均匀。然而在因弧长变化而引起电压发生波动及为获得一定的焊接工艺而在电流不变时将提高或降低电压的情况下, 会使得熔滴大小不一致而会产生因熔滴尺寸过大而出现大量的瞬时短路和短路时间延长, 以及因 di/dt 较低和控制时间较长而引起的顶丝现象。为解决这些问题, 有必要对原控制波形进行一些改进, 重点在于对 $t_1 \sim t_2$ 及 $t_2 \sim t_3$ 两个阶段的电流上升斜率 di/dt 及其控制时间的调整。

如图 4b 所示, 具体改进方式为在 $t_1 \sim t_2$ 阶段调节电流值使其降到很低的水平 (接近于基础电流) 并维持一定的时间, 但这段时间不能太长以 0.6 ms 及 0.8 ms 为宜, 否则会发生顶丝现象; 在 $t_2 \sim t_3$ 时间使斜率以一个相比图 4a 较大的斜率上升, 促使熔

滴快速向熔池中过渡并在一个相对较高的峰值电流下破断。

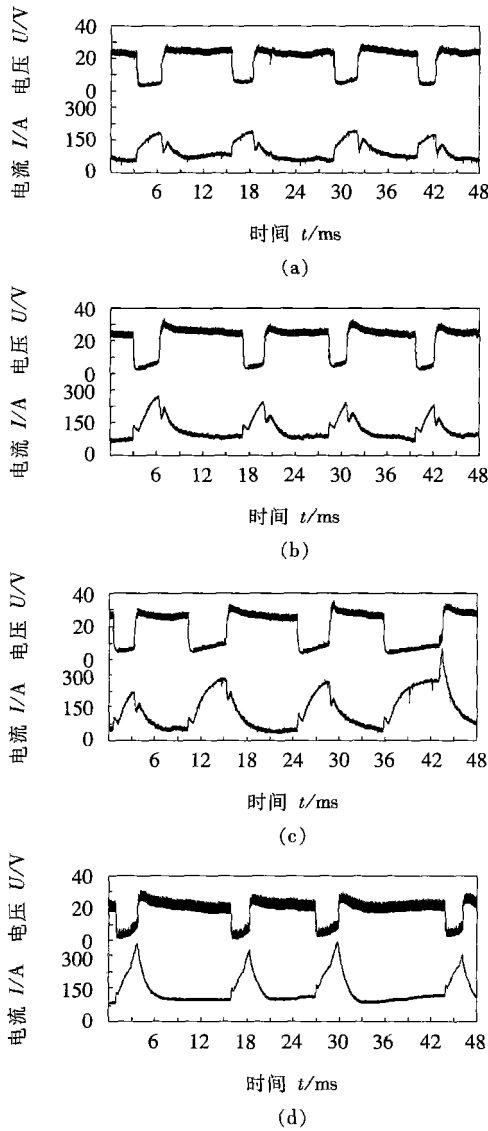


图 4 实测电流电压波形

Fig. 4 Real waveform of welding current and voltage

而在电弧变长及微调电压较高的情况下, 如图 4c 所示。应适当降低 $t_2 \sim t_3$ 阶段的 di/dt 及延长控制时间, 这段时间应略大于正常短路时间, 即大于 2 ms 这样做的原因是: 如果在这段时间内熔滴的过渡仍未完成, 则立即退出短路控制迫使缩颈在相对较高的电压作用下以较大的电流破断, 保证焊接过程的稳定同时亦可以提供一个较高的再引弧电流, 即能保持焊接过程的连续性与稳定性, 又有效的提高了焊接性能。

当电弧变短及微调电压偏低的情况下, 如图 4d 所示, 应适当提高 $t_2 \sim t_3$ 阶段的 di/dt 及缩短控制时间, 这段时间应略小于正常短路时间, 以提高焊丝的

熔化速度,加速熔滴向熔池中的过渡,从而有效的避免了因电压低而引起的顶丝现象。

表 1 中的 di/dt 为 $t_2 \sim t_3$ 时间的短路电流上升率,由表 1 可以看出当改变电压值时只有短路时间

和燃弧时间变化较大而短路过渡频率变化不大。这就说明了通过调整 $t_2 \sim t_3$ 阶段的 di/dt 及控制时间完全可以保证焊接过程的稳定性,有效的提高了焊接性能。

表 1 实测焊接过程参数
Tab e 1 Test parameters of welding process

| | 焊接电流 I/A | 电弧电压 U/V | di/dt A/ms | 过渡频率 $f_{tran}(\text{次}/s)$ | 燃弧时间 t_a/ms | 短路时间 t_s/ms |
|------|---------------|---------------|-------------------|--------------------------------|------------------|------------------|
| 图 4a | 120 | 20 | 30 | 103 | 7.66 | 2 |
| 图 4b | 120 | 20 | 60 | 94 | 8.4 | 2 |
| 图 4c | 120 | 22 | 52 | 81 | 7.45 | 4.8 |
| 图 4d | 120 | 18 | 75 | 88 | 9.85 | 1.5 |

5 结 论

- (1) 从波形控制的角度分析了影响 GMAW 焊接稳定性的因素,特别是动特性的影响,并在此基础上设计了一种可调节多斜率波形控制方法。
- (2) 针对不同的焊接工艺及规范的调整,详细分析了不同的调节方法对焊接性能的影响。结合试验结果得出一个最佳的波形控制参数,结果表明通过对波控参数精确的调节,可以有效的提高 GMAW 的焊接性能。
- (3) 通过对波控参数的比较分析,可以更加深入的了解焊接过程稳定性的影响因素,特别是对于现在大量采用逆变焊接电源而言,可以利用逆变电源的良好动特性指标开发出更加完善的控制方式,以满足不同焊接工艺的需要。

参考文献:

[1] 王 伟,曹 阳,朱六妹. CO₂焊短路过渡过程控制策略及实施方案探析(一)[J]. 电焊机, 2001, 31(3): 8-12

[2] Stava E K. The surface - tension - transfer power source a new low - spatter arc welding machine [J]. Welding Journal, 1993 72(1): 25-29

[3] 殷树言. CO₂ 焊接设备原理与调试 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2000. 34-35.

[4] Hua Xueming, Wu Yixiong, Jiao Fujiao *et al* Study on digital trigger of silicon controlled rectifier welder based on digital signal process[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2002 23(2): 72-74 91

华学明, 吴毅雄, 焦馥杰, 等. 以数字信号为基控制的可控硅焊机的数字触发 [J]. 焊接学报, 2002 23(2): 72-74 91

作者简介: 孙 广, 男, 1969年 10月出生, 博士生, 从事数字化焊接电源的研究。
Email: mangn8@hotmail.com

route LI Guo jia WANG Guo rong ZHONG Ji guang SHI Yong hua (College of Mechanical Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China). p58-62

Abstract In order to meet the need of tracking underwater seam, a vision system was designed. In this system, a halogen tungsten lamp is used to light the groove in the front of arc and compound filters are selected. As a result, the comparatively clear welding seam images can be captured with the system. Meanwhile, an operator is proposed based on neighbourhood average value of edge images, and an improved genetic algorithm is used to calculate maximization of interclass variance for images, and the best threshold segmentation was obtained. The algorithm not only preserves the weak edge of image, but also reduces the running time. For welding seam image after segmentation, an algorithm based on properties of welding seam width was proposed which has overcome the disturbance of arc splash and can recognize the seam and obtain the welding seam centre line accurately. The research laid the foundation for the automation of underwater welding.

Key words underwater welding; edge detection; welding seam recognition

Parameters regulated multi slope waveform control gas metal arc welding SUN Guang¹, HE Jian ping¹, ZHANG Chun bo¹, BAI Ri hui¹, WU Yi xing^{1,2} (1. Welding Institute, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China; 2. State Key Laboratory of Metal Matrix Composite, Shanghai 200030, China). p63-66

Abstract The influencing factor of short circuit transfer gas metal arc welding (GMAW) characteristic is analyzed according to waveform control parameters and a short current rising slope regulated multi slope waveform control method was put forward. The experiment result shows that the GMAW performance could be improved obviously when trimming the welding variables with the technological condition changed. By adjusting the short current rising slope and control period accurately, the welding process was kept stable and fits for the different welding conditions much better.

Key words waveform control parameters; regulative multi slope; gas metal arc welding

Detection of keyhole behavior in keyhole plasma arc welding using plasma cloud voltage SONG Dong feng HU Sheng sui KONG Xiang fen (School of Material Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China). p67-69

Abstract Keyhole stability during plasma arc welding welding process is critical to the process stability and weld quality. A non power supply probe was developed to detect the plasma cloud voltage, which consists of plasma arc voltage gradient and plasma sheath voltage. Based on plasma sheath theory, the keyhole state information, keyhole establishment and collapse could be predicted by the plasma cloud voltage which changes according to the length and angle of plasma cloud. The signal characteristic and the influences of welding materials, probe location, welding current and plasma gas flow on the signal are discussed. Experi-

ments verified the effectiveness of the method for predicting the keyhole information and joint penetration state.

Key words plasma arc welding; keyhole; plasma cloud voltage; detecting

Kinematics modeling for arc welding robot YUAN Can HONG Bo, PAN Ji huan, QU Yue bo (School of Mechanical Engineering, Xiangtan University, Xiangtan 411105, Hunan, China). p70-72

Abstract This paper presents a new kinematics modeling of the intelligent arc welding in the real-time trajectory tracking. The new method is called welded line tangent method which forms a kinematics model for the robot operating in the bent degree based on the judgment of the tracking system. With the method, the kinematics models for the four wheel robot and instantaneous of mobile machine was set up. Experimental results show that control characters and accuracy are satisfactory and this controller can meet the requirements of the welding application.

Key words mobile robot; arc sensor; kinematics modeling; arc welding

Surface nanocrystallization of commercial pure titanium welded joints and its influence on properties ZHANG Shu lan CHEN Huai ning LIN Quan hong LIU Gang (Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China). p73-76

Abstract The welded joints of commercial pure titanium were treated by surface mechanical attrition treatment. The mean grain sizes of the surface layer were measured by X-ray diffraction and transmission electron microscope. The results show that the mean grain sizes of the surface layer in the weld and heat affected zone (HAZ) reach the nanometer scale and the depth of nanocrystallization is about 30~40 μm . The microhardness of the treated weld and HAZ increased obviously. The corrosion tests reveal that the corrosion resistance of the treated weld and HAZ was improved in HCl solution.

Key words commercial pure titanium; surface nanocrystallization; welded joint; surface mechanical attrition treatment; microhardness; corrosion

Combustion gas flow analysis for supersonic spray using finite element method HOU Gen liang WANG Han gong YUAN Xiao jing SU Xun jia (The Second Artillery Engineering College, Xi'an 710025, China). p77-80

Abstract Based on the liquid rocket motor, the whole sphere flow model was proposed for the supersonic spray for the KY-HVO(A)F system. The velocity and temperature distributions were modeled for the high velocity oxygen fuel (HVOF) and high velocity air fuel system, and the sub-expanding and super-expanding characteristics were presented respectively. The HVOF system has 8 mach diamonds in the calculated result, and the actual flame has 8.9 mach diamonds, so the pulse in the spray process can be analyzed well. The similar characteristics were shown in the velocity distributions.

Key words supersonic spray; fluent analysis; velocity; temperature