

铝合金脉冲 MIG 焊动态过程辨识

石 磊^{1,2}, 黄 岸¹, 樊 丁², 梁卫东²

(1. 兰州理工大学 有色金属合金省部共建教育部重点实验室, 兰州 730050 2. 兰州理工大学 甘肃省有色金属新材料省部共建国家重点实验室, 兰州 730050)

摘 要: 针对铝合金脉冲 MIG 焊熔池动态过程, 设计了阶跃响应试验, 利用曲线拟合法对基值电流、送丝速度与熔宽的模型分别进行了辨识, 分析了基值电流、送丝速度对熔宽的影响规律, 为铝合金脉冲 MIG 焊过程控制提供了理论依据。

关键词: 铝合金; 脉冲 MIG 焊; 辨识

中图分类号: TG444.74 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2006)03-57-04



石 磊

0 序 言

脉冲 MIG 焊是实现铝合金焊接尤其是中厚板焊接的重要方法之一, 随着高强铝合金材料日益广泛的得到应用, 对其焊接质量也提出了更高要求。由于铝合金材料自身焊接特点以及环境条件的随机干扰, 使得采用恒定工艺参进行铝合金 MIG 焊接, 很难保证焊接质量^[1]。因此实现铝合金脉冲 MIG 焊过程动态控制具有重要的意义。

由于影响铝合金脉冲 MIG 焊过程的因素很多, 因此其熔池动态变化过程表现为高度非线性、大时滞、多变量强耦合等特点, 基于精确建模的经典控制方法很难得到理想的控制效果。针对铝合金脉冲 MIG 焊接过程的复杂性, 需要采用现代智能控制方法实现其控制过程。智能控制方法从一定程度上不依赖于精确的数学建模, 但也必须根据焊接熔池的动态特性, 调节控制参数。因此系统了解铝合金脉冲 MIG 焊接动态过程, 为进一步实现焊接过程自动控制提供仿真和参数设计依据仍然是十分必要的。文献[2-3]针对碳钢的 TIG 焊过程进行了模型辨识和控制方面的研究。作者利用设计的阶跃响应试验, 由 CCD 视觉传感系统检测熔池形状参数^[4], 对铝合金脉冲 MIG 焊接工艺参数中基值电流、送丝速度与熔宽的模型分别进行了辨识, 建立了熔宽变化动态数学模型, 为进而实现铝合金脉冲 MIG 焊过程控制提供了理论依据。

1 系统辨识方法及原理

系统辨识过程主要是研究系统在一定输入信号的作用下的响应, 通过辨识确定动态过程的模型结构和参数。通常采用的输入信号主要为典型的确定性非周期信号、确定性周期信号、随机非周期信号和随机周期信号等^[5]。考虑焊接过程的实际情况, 采用阶跃信号作为实际的输入, 进行铝合金脉冲 MIG 焊熔池动态过程系统辨识。

利用阶跃响应曲线来确定系统动态模型的方法很多, 常用的有近似法、半对数法、切线法、两点法、面积法和曲线拟合法等。铝合金脉冲 MIG 焊接过程噪声影响十分严重, 过渡过程熔池宽度波动很大, 而曲线拟合法与其它方法相比, 具有较强的抗噪声干扰能力, 当阶跃响应曲线呈现不规则形状时, 也能有效推导出系统动态模型对应的参数, 因此采用曲线拟合法进行铝合金脉冲 MIG 焊熔池动态过程的系统辨识。

铝合金 MIG 焊接熔池在阶跃信号的作用下, 其动态响应特点为熔宽变化从一个稳态无振荡的过渡到新的稳态。因此可以确定阶跃响应模型为自衡非振荡模型。对于这类过程, 常用下列传递函数描述其数学模型

$$G(S) = \frac{K}{TS+1} \cdot e^{-\tau S}, \quad (1)$$

式中: τ 是过程的时滞; K 是过程的增益; T 是时间常数; S 是微分算子。

通过试验测试获取过程的阶跃响应的输入为 $u(t)$, 输出为 $h(t)$, 并将它转化成无因次的形式

$$u^*(t)=\frac{u(t)}{u_0}, \tag{2}$$

$$h^*(t)=\frac{h(t)}{h(\infty)}, \tag{3}$$

式中: u_0 为输入信号的阶跃幅值; $h(\infty)$ 为输出信号的稳态值。显然有

$$K=\frac{h(\infty)}{u_0}. \tag{4}$$

利用曲线拟合法进行系统辨识的关键在于对式 (1) 进行参数估计, 即求得自衡非振荡模型中的参数 τ, K, T 。由于输入输出采样点较少, 可用样条函数对采样数据插值。采用非线性最小二乘法拟合阶跃响应曲线, 使拟合计算值与实际采样插值数据

之间的误差平方和最小, 进而用参数估计算法辨识出过程阶跃响应传递函数。

运用上述阶跃响应法对铝合金脉冲 M G 熔池动态过程中基值电流与正面熔宽和焊接速度与正面熔宽两个单输入单输出 (SISO) 过程分别进行了模型辨识。

2 系统辨识过程及结果

2.1 基值电流与熔池正面熔宽动态辨识

2.1.1 试验条件及数据

为了获得熔池正面熔宽随基值电流阶跃变化的响应数据, 母材规格为 300 mm × 100 mm × 6 mm, 试验条件见表 1。

表 1 试验条件
Table 1 Test condition

母材	焊丝直径 d/mm	脉冲频率 f/Hz	送丝速度 $v_1/(\text{m}\cdot\text{min}^{-1})$	焊接速度 $v_2/(\text{cm}\cdot\text{min}^{-1})$	电弧电压 U/V	峰值电流 I/A	占空比 $D(\%)$	熔池图像采样 周期 T/ms
铝合金 5058H H321	铝镁焊丝 $\phi 1.2$	2	6.5	12	18.0	200	20	800

焊接过程中保持其它条件不变, 脉冲基值电流以 96 A 稳定运行 60 个熔池图像采样周期后, 从第 61 个采样周期起突变为 116 A, 经过一段时间后, 焊接过程进入新的稳态, 试验进行到 150 个采样周期后结束。同时, 在焊接过程中实时采集熔池正面熔宽变化数据, 图 1 为铝合金脉冲 M G 焊接过程中通过实时图像处理记录下的铝合金正面熔宽的变化与电流基值阶跃变化图。

焊非稳态过渡时, 熔滴过渡、焊丝熔化等的扰动对熔池形态有很大影响而导致的。

2.1.2 熔宽随基值电流阶跃响应辨识结果

依据基值电流阶跃响应试验数据, 利用 MATLAB 语言开发的曲线拟合法辨识程序, 对 M G 焊正面熔宽相对于基值电流的阶跃响应过程进行了辨识。辨识所得传递函数是

$$G_{W_{\max}}(S)=\frac{W_{\max}(S)}{I_b(S)}=\frac{1.7303}{4.8241S+1}e^{-\tau s},$$
$$\tau=-1.5705. \tag{5}$$

辨识所得数学模型的阶跃响应曲线和原始基值电流阶跃数据的对比见图 2。

从图 2 可以看出辨识所得传递函数的阶跃响应曲线和实际过程基本接近, 两者之间的误差较小。而且, 大约 5 s 以后, 阶跃响应就可从最初稳态上升到新的稳态的 90% 以上。同时可以看到, 由于铝合金散热快, 基值电流增加导致的热输入增大, 并不能马上反映与焊缝正面熔池宽度的变化, 导致基值电流阶跃响应存在滞后现象, 滞后时间为 1.5705 s。

2.1.3 辨识模型试验仿真

用所建立的模型在 MATLAB 中进行了仿真试验, 以便验证所建立的模型的准确性。仿真条件与实际焊接过程一致。图 3 是仿真曲线与试验曲线的

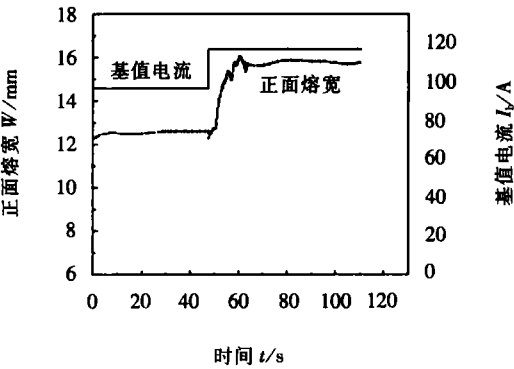


图 1 电流基值与熔宽阶跃变化曲线

Fig 1 Step response for welding base current and beam pool width

由图 1 可以看出铝合金脉冲 M G 焊阶跃过渡过程熔池宽度变化有较大波动, 这主要是由于 M G

对比图。可以看出辨识所得数学模型基本反映了实际焊接条件下基值电流变化后对应的焊缝正面熔宽变化过程。仿真数据与试验数据二者的均方差为 3.2%。

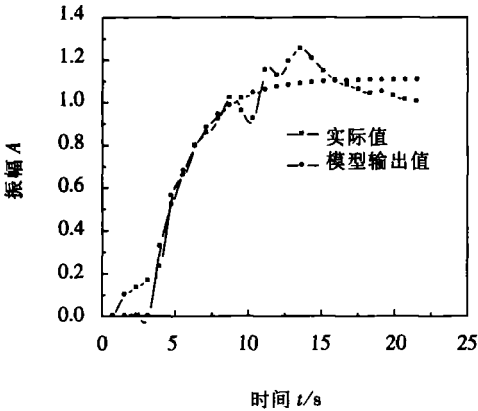


图 2 辨识所得数学模型的阶跃响应曲线和原始基值电流阶跃数据的对比

Fig. 2 Step response of model obtained by identification and original welding base current step response

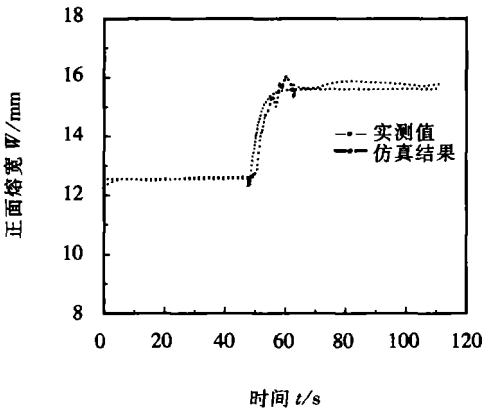


图 3 基值电流阶跃响应仿真曲线与实际焊缝熔宽阶跃响应对比

Fig. 3 Step response of the welding base current and the step response of the welding pool width

2.2 送丝速度与熔池正面熔宽动态辨识

2.2.1 试验条件及数据

其它试验基本条件与基值电流与熔池正面熔宽动态模型辨识时相同, 焊接基值电流保持 96 A 不变, 送丝速度以 5.5 m/min 稳定运行 12 个采样周期后, 从第 13 个采样周期起突变为 5.7 m/min。

图 4 为铝合金脉冲 MIG 焊接过程中通过实时图像处理记录下的铝合金正面熔宽的变化与送丝速度阶跃变化图。

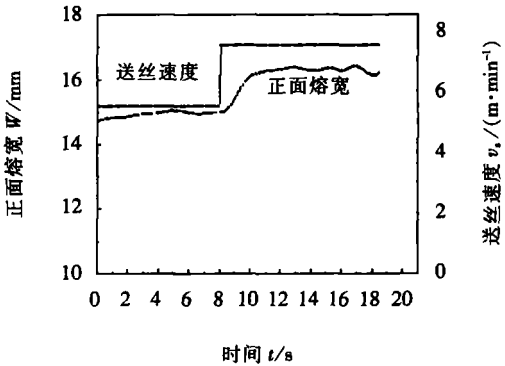


图 4 送丝速度与熔宽阶跃变化曲线

Fig. 4 Step response for welding wire speed and beam pool width

2.2.2 熔宽随基值电流阶跃响应辨识结果

对 MIG 焊正面熔宽随送丝速度的阶跃响应过程进行了辨识。辨识所得传递函数为

$$G_{W_{\max}}(S) = \frac{W_{\max}(S)}{v_s(S)} = \frac{1.5005}{1.1691S + 1} e^{-\tau s}; \quad (6)$$
$$\tau = -0.4174$$

辨识所得数学模型的阶跃响应曲线和原始送丝速度阶跃数据的对比见图 5。

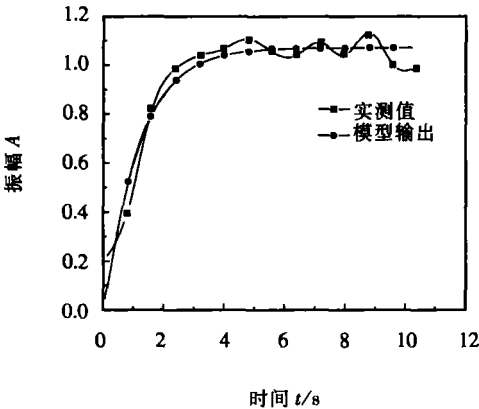


图 5 辨识所得数学模型的阶跃响应曲线和原始送丝速度阶跃数据的对比

Fig. 5 Step response of model obtained by identification and original welding wire speed step response

从图 5 可以看出辨识所得传递函数的阶跃响应曲线基本可以反映实际过渡过程。与基值电流变化对熔宽的影响类似, 送丝速度增加时, 导致平均电流增加, 从而导致 MIG 焊热输入增大, 但由于铝合金

的热积累作用较强, 导致熔宽变化存在滞后现象, 滞后时间为 0.4174 s

2.2.3 辨识模型试验仿真

图 6 是仿真曲线与试验曲线的对比图。可以看出辨识所得数学模型基本反映了实际焊接条件下送丝速度变化后对应的焊缝正面熔宽变化过程。仿真数据与试验数据二者的均方差为 2%。

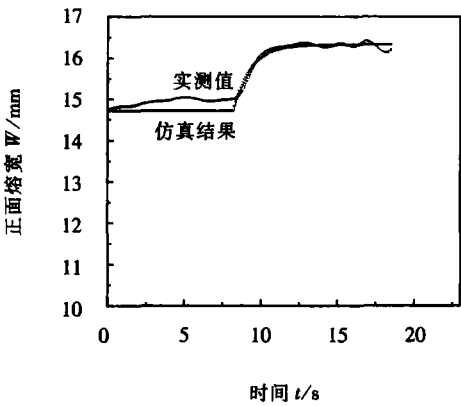


图 6 送丝速度阶跃响应仿真曲线与实际焊缝熔宽阶跃响应对比
Fig. 6 Step response of welding wire speed and the step response of welding pool width

3 结 论

(1) 从建立的送丝速度与熔池正面最大宽度和基值电流与熔池正面最大宽度的辨识模型中可以看出铝合金脉冲 MIG 焊熔池动态过程存在较大的时滞性。

(2) 从铝合金脉冲 MIG 焊辨识模型分析基值电流和送丝速度对熔宽的作用效果, 可知在文中的试验条件下, 熔池正面最大宽度对送丝速度变化的响应比对基值电流基值变化时的响应快一些, 但是送丝速度对熔池正面最大宽度的影响比基值电流对熔池正面最大宽度的影响小。

(3) 由于铝合金脉冲 MIG 焊过程的复杂性和干扰因素的存在使得其熔池阶跃响应过渡过程存在较大波动。在这种条件下利用曲线拟合法可以较好地建立其辨识模型, 该模型能够基本反映出系统的输入、输出特性, 为进一步实现铝合金脉冲 MIG 焊过程自动控制提供了理论依据。

参考文献:

[1] Sotaro Yamada, Koichi Masubuchi. Advanced welding technology keeps Japans' high speed trains on track[J]. Welding Journal, 2000, 79(11): 48-53
[2] 武俊峰, 薛雨, 王强, 等. 脉冲 GTAW 过程辨识及 PID 控制[J]. 电机与控制学报, 2002, 6(1): 71-74
[3] 陈文杰. 脉冲 GTAW 焊熔池动态过程建模与控制方法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 1997
[4] 石 翀, 樊 丁, 吴 巍. 铝合金 MIG 焊熔池图像的形态学处理方法[J]. 焊接学报, 2005, 26(3): 37-40
[5] 薛定宇. 控制系统计算机辅助设计-MATLAB 语言及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1996

作者简介: 石 翀, 男, 1973 年 3 月出生, 工学博士, 副教授。研究方向为人工智能、机电一体化和弧焊过程控制, 主持或参加省部级项目 6 项, 获奖 3 项, 发表论文 30 余篇。

Email shiyu@hit.cn

D A converter and the output parameters of welding can be easily controlled with high precision. At the same time, the welding device has lower complexity. Moreover, the welding parameters can be regulated temporarily and output current of variable polarity pulsed welding can be exactly controlled.

Key words digital signal processing variable polarity pulsed metal inert gas

Identification of aluminum alloy pulsed metal inert gas welding dynamic process SHI Yu HUANG An FAN Ding LIANG Wei dong (State Key Lab of Gansu New Non-ferrous Metal Materials Lanzhou University of Technology Lanzhou 730050 China). p57 – 60

Abstract Based on the step response experiment, the welding pool width model of dynamic process in aluminum alloy pulsed metal inert gas welding was identified by least square method. The input of the model was welding wire speed and base current respectively, and the output was beam width of welding pool. The influence of wire speed and base current on welding pool width was analyzed. It provides the theoretical basis to realize the intelligent control for aluminum alloy pulsed metal inert gas welding process.

Key words aluminum alloy pulsed metal inert gas welding identification

Metallic ceramic arc spraying cored wires for surface modification of crankshaft GUO Mian hua LIU Aiguo ZHAO Min hai Qu Jun zhang (1. National Key Laboratory of Advanced Welding Production Technology Harbin Institute of Technology Harbin 150001, China). p61 – 64

Abstract Cored wires with Al_2O_3 and $NCrCr_3C_2$ as filler materials for surface modification of crankshaft were produced. Microstructures, bonding strength and wear resistance of coatings produced with these two cored wires were tested. The results showed that with Al_2O_3 as filler material of the cored wire, content of ceramic phase in the coating was high, and the coating was fairly bonded to the substrate. Adhesive strength was as high as 21–23 MPa, and the shear strength of the coating was 31–27 MPa. Resistance to wear of the coating was good. With same wear conditions, the wear loss of mass was only one-fourth of that of the cast iron sample. Addition of Ni_3Al and graphite was the most important reason for high adhesive strength.

Key words cored wire crankshaft thermal spray metallic ceramic

Environmental load assessment of arc welding process BU Zhi xiang SHI Yu xiang WANG Bin PENG Zhi feng (College of Power & Mechanical Engineering Wuhan University Wuhan 430072 China). p65 – 68

Abstract By introducing LCA (life cycle assessment) environmental assessment method to arc welding process, it is presented that the involved material quantity of power resource and waste per unit volume or mass of welding deposited metal (welding product) can be defined as a technical parameter for environmental load assessment of welding process, which provides a new method to quantitatively investigate environmental load of welding. The results from the environmental load assessment of CO_2 gas shielded arc welding indicate that waste is the key factor which should be controlled and improved to affect the product making environment. The assessment model has been proved reasonable from the fact that power factorial item of CO_2 gas shielded arc welding shows good comparability with correlative item of steel-making process in electric oven, which makes it possible to quantitatively assess the whole life cycle of materials.

Key words life cycle assessment arc welding CO_2 gas shielded arc welding environmental load panvironment function

Solidification characteristics and mechanism of feeding surface metallurgical coating by DC plasma jet LIM in^{1,2} LI Huai dong^{1,2} LI Huai qi^{1,2} PEI Zhong an² SUN Yu zong² (1. Institute of Material Beijing University of Science and Technology Beijing 100083 China; 2. Institute of Material Shandong University of Science and Technology Qingdao 266510 Shandong China). p69 – 72

Abstract The ferroalloy coatings with powder mixtures of different constituent, different size, different density and different shape were prepared on Q235 steel using the feeding surface metallurgical technology by DC Plasma Jet. The composition, microstructure of alloying coating and microstructure transformation of heat affected zone were investigated using optical microscope, scanning electron microscope, electron microprobe analysis and X-ray diffraction. Results indicated that plasma surface metallurgical coating of Fe-Cr-Ni-B-Si had well wettability, and metallurgical bonding was obtained between coating and substrate. The rapid solidifying structure of coating was laminar, from epitaxial planar crystal on the bottom to equiax crystal in the middle to bunched crystal on the top. The matrix of surface coating was malleable γ -(Fe-Ni) dendritic crystal, which was supersaturated solid solution of many Cr and small Ni-B-Si elements. And eutectic structure of $(Cr-Fe)_7(C_2B)_3$ and γ -(Fe-Ni) dispersed on interdendrite. Due to heat cycle influenced by plasma beam, the heat affected zone had two layers: phase transformation zone and recrystallization zone.

Key words plasma surface metallurgy solidification characteristics ferroalloy powder

A simple method to locate initial welding position of planar weld using visual technology CHEN Xi Zhang¹ CHEN Shan-ben² LIN