

# 全数字控制 CO<sub>2</sub> 焊 Matlab /Simulink 建模与仿真

冯曰海, 卢振洋, 刘嘉, 殷树言

(北京工业大学 机械工程与应用电子技术学院, 北京 100022)

**摘要:** 利用 Matlab /Simulink 对全数字控制 CO<sub>2</sub> 焊的短路过渡过程进行了仿真, 建立了“功率变换电路单元 - 数字控制单元 - 送丝单元 - 短路过渡负载单元”的 CO<sub>2</sub> 焊系统仿真模型, 从整体上对 CO<sub>2</sub> 焊全数字控制逆变焊机系统进行了研究。短路过渡负载模型中考虑了燃弧期间和短路期间熔滴的动态变化过程, 采用电弧弧长和电爆炸理论来确定短路燃弧与否, 从而使数字控制的效果直接在熔滴行为和电弧行为上得以体现。仿真波形与试验结果基本一致, 证明所建的系统仿真模型是正确的。

**关键词:** 全数字控制; 波形控制; 仿真模型; 短路过渡; CO<sub>2</sub> 焊

中图分类号: TG 444 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2005)07-27-06



冯曰海

## 0 序 言

CO<sub>2</sub> 焊短路过渡电弧的燃烧是周期性重燃 - 熄灭的过程, 是一个严重的非线性、时变负载。波形控制方法被认为是控制 CO<sub>2</sub> 焊熔滴短路过渡过程飞溅和焊缝成形的有效方法之一。但由于波形控制方案的复杂化, 波形控制参数的增多, 迫切需要一种通过计算机技术对短路过渡动态行为进行研究的简便、有效的方法。同时, 采用全数字控制来实现短路过渡 CO<sub>2</sub> 焊的控制, 是一个全新的课题。对 CO<sub>2</sub> 焊数字控制的规律认识还不是十分清楚, 因而也迫切需要通过计算机仿真对数字控制系统的规律进行深入分析, 了解数字控制规律对 CO<sub>2</sub> 焊熔滴过渡过程动态行为的影响, 以期实现理想的 CO<sub>2</sub> 焊短路过渡数字控制的目的。

目前, 对 CO<sub>2</sub> 气体保护焊的计算机仿真进行了许多研究<sup>[1,2]</sup>, 但大多数仿真都仅仅用数学方程来描述焊接电源系统, 很难反映出 CO<sub>2</sub> 焊接电源系统的实际情况, 而且短路过渡负载模型的建立往往过于简化, 仿真结果不能较真实地反映实际 CO<sub>2</sub> 焊焊接过程的动态行为。基于以上考虑, 利用 Matlab /Simulink 工具对 CO<sub>2</sub> 焊数字控制的短路过渡动态行为进行了整体仿真研究, 建立了基于 Simulink 功率模块的具有非线性特征的功率变换电路模型以及短路过渡的熔滴过渡行为和电弧行为模型, 并将其与

数字控制单元模型和送丝单元模型整合为一个系统级仿真模型, 为 CO<sub>2</sub> 焊短路过渡的全数字控制研究和动态行为分析提供了有效手段。

## 1 系统仿真模型的建立

### 1.1 系统模型的构成

GMAW 电弧的行为特征与熔滴过渡特性(包括熔滴过渡模式及其所反映出的负载特性), 即 GMAW 的动态行为, 是由组成 GMAW 的各个子系统所决定的。一般而言, GMAW 系统的组成主要由四个部分组成, 电源系统、送丝系统、控制(包括模拟与数字)系统、焊接电弧系统(包括熔滴过渡行为和负载特性)。

结合 CO<sub>2</sub> 焊数字控制短路过渡而言, 其各个子系统的组成及相互关系如图 1 所示。其各个子系统分别为功率变换电路单元、数字控制单元、送丝单元和短路过渡负载单元。其中数字控制单元由数字 PWM(脉冲宽度调制)、动态波形设定、短路时的电流数字 PI(比例积分)调节器和燃弧时的电压数字 PI 调节器组成。短路过渡负载模型则要包括燃弧期间的电弧行为模型和短路期间的液桥行为模型。在数字控制下各个单元的动态行为决定了整体 CO<sub>2</sub> 焊短路过渡的动态行为。

### 1.2 功率变换电路单元模型

焊接电源系统的特性方程为

$$\frac{LdI}{dt} = U_{oc} - U, \quad (1)$$

式中:  $L$  为焊接电源主电路中的输出铁磁电感;  $U_{oc}$  为功率变换电路的输出电压;  $I$  为焊接电流;  $U_f$  为实际电源输出端的电压, 即通常所说的焊接电压, 其包括干伸长压降、回路电缆压降以及分别针对短路过渡燃弧期间的电弧电压和短路期间的液桥压降。

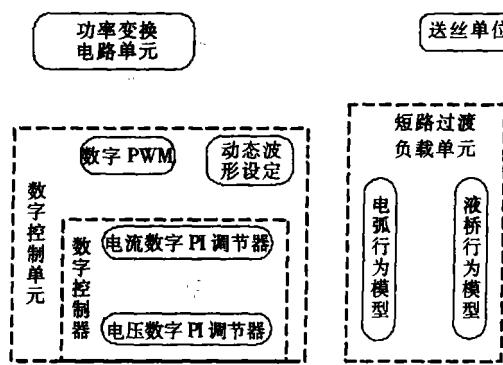


图 1  $\text{CO}_2$  焊仿真系统组成框图

Fig. 1 Schematic of  $\text{CO}_2$  gas shielded arc welding simulation system

输出  $U_{oc}$  的功率逆变器采用全桥功率变换电路, 以电力系统模块为基础, 建立的基于 Simulink 的功率变换电路单元的仿真模型, 如图 2 所示。其输出量为焊接电压  $U_f$  和焊接电流  $I$ 。其中 IGBT(绝缘栅双极晶体管)的参数根据西门子公司提供的型号为 BSM 150GB120DN2 的开关特性进行设定。中频变压器变比为 8 工作频率为 20 kHz 输出整流二极管导通电阻  $10 \text{ m}\Omega$ , 正向压降  $0.8 \text{ V}$ 。电感为  $65 \mu\text{H}$ 。

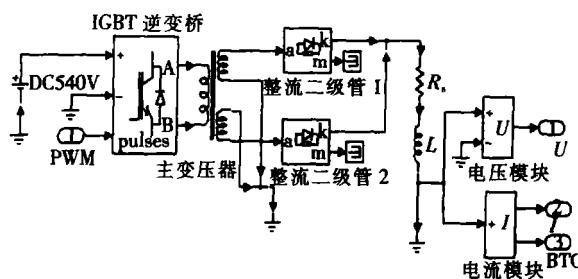


图 2 功率变换电路模型

Fig. 2 Simulation model of power inverter unit

### 1.3 数字控制单元模型

数字控制单元是实现  $\text{CO}_2$  焊短路过渡全数字控制的核心。如图 1 所示,  $\text{CO}_2$  焊短路过渡数字控制单元的 Simulink 模型分为三个组成部分, 动态波形设定、数字控制器和数字 PWM。建立数字控制单

元的仿真模型也就是建立基于 Matlab 的其各个组成部分的模型。

#### 1.3.1 动态波形设定

在  $\text{CO}_2$  焊短路过渡中, 波形控制的方法就是针对短路过渡的不同阶段, 动态调整电流电压波形的设定, 以达到良好的焊接效果。为了使仿真的结果尽可能的与实际情况相符合, 必须在仿真时使波形的设定情况与实际情况相同。在短路过渡波形控制中, 短路和燃弧阶段采用了不同的控制方法, 电流与电压的反馈与设定控制信号的切换通过短路燃弧信号来进行切换, 其中重要的是短路期间电流设定信号的变化。短路期间的电流波形控制如图 3 所示, 燃弧期间采用恒压控制。图中  $I_w$  为短路初期润湿电流,  $T_w$  为短路润湿时间,  $I_c$  为拐点电流,  $K_m$  为短路抑制斜率,  $I_m$  为短路最大峰值电流限制。

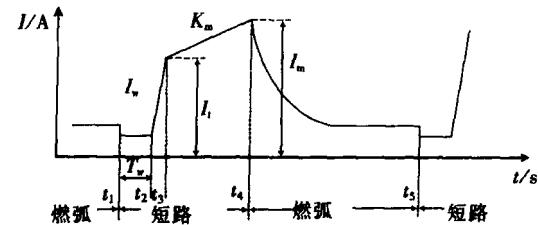


图 3 双斜率波形控制方案

Fig. 3 Double slope waveform control project in short circuit period

根据图 3 所设计的波形控制方案, 建立的动态波形设定 Simulink 仿真模型如图 4 所示。其状态切换由短路与燃弧切换信号 Short detect 来控制。短路期间的波形通过  $I_w$ 、 $T_w$ 、 $I_c$ 、 $K_m$  和  $I_m$  来进行波形的设定, 该模块采用 Simulink 的 Enable 子系统模块来

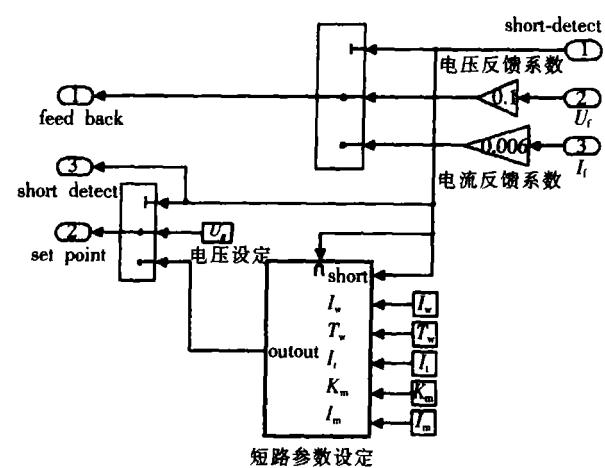


图 4 动态波形设定模型

Fig. 4 Simulation model of dynamic set waveform

实现, 在燃弧期间不进行仿真计算。当进入短路时, 通过 Short detect 来激活电流波形设定子系统, 焊接电流和电压反馈信号也进行相应的转换。

### 1.3.2 数字控制器

PI 控制是最早发展起来的控制策略之一, 由于其算法简单、可靠性高, 被广泛应用于工业过程控制。针对短路过渡过程的不同阶段和熔滴过渡特征, 短路过渡 CO<sub>2</sub> 焊的数字控制器由燃弧期间的电压调节器与短路期间的电流调节器组成。PI 调节器的离散差分方程为

$$u(k) = u(k-1) + A_1 e(k) + A_2 e(k-1), \quad (2)$$

式中:  $A_1 = K_p(1 + T_i/T_s)$ ;  $A_2 = -K_p$ ;  $u(k)$  为采样时刻  $k$  的 PI 输出值;  $e(k)$  为采样时刻  $k$  的偏差值;  $K_p$  和  $T_i$  分别为比例系数和积分系数;  $T$  为采样周期。

图 5 是在根据程序设计中使用的式 (2) 来建立的数字 PI 调节器的 Simulink 模型。图中包括  $K_p$  为比例系数,  $K_i$  为积分系数, 还包括偏差计算模块、饱和限制模块等。

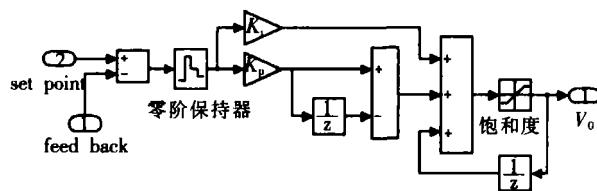


图 5 数字 PI 调节器模型

Fig. 5 Simulation model of discrete

所设计的电流与电压调节器都是采用上述的离散结构, 只是在选择 PI 参数存在着不同。

针对 CO<sub>2</sub> 焊短路过渡的特点, 在数字控制器的仿真研究中采用短路期间电流数字调节器与燃弧期间电压数字调节器的调节策略。短路过渡数字控制器的 Simulink 模型如图 6 所示, 控制器输出为非线性数字 PWM 单元调节的输入值。对于变参数数字 PI 调节器而言, 只要根据过程增加不同 PI 参数的数字调节器与其并联就可以。这种多控制器的数字 PI 调节策略也适用于其它控制器的设计。

### 1.3.3 数字 PWM

DPWM (数字脉冲宽度调制) 根据 DSP (数字信号处理器) 送入的值生成相位差 180°、带死区时间和最小脉宽限制的两路 IGBT 驱动脉冲。

根据所设计的 DPWM 产生波形, 建立的数字 PWM 的 Simulink 模型如图 7 所示。仿真模型由脉冲信号发生器模块、积分模块及与非等逻辑控制模

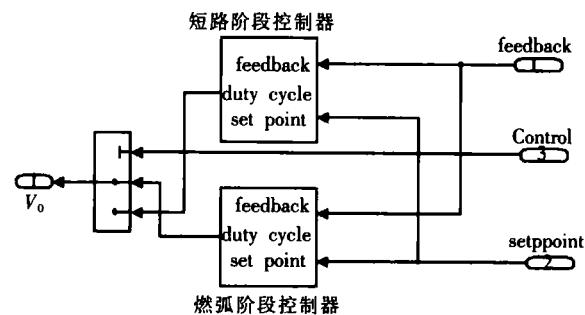


图 6 数字控制器模型

Fig. 6 Simulation model of digital controller

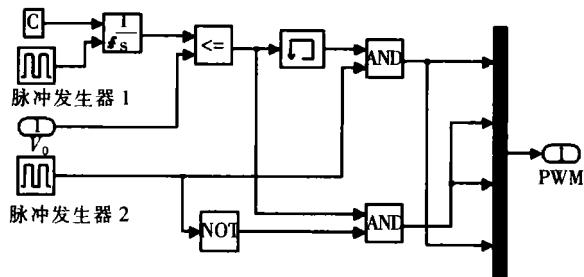


图 7 数字 PWM 的模型

Fig. 7 Simulation model of digital pulse width modulation

块组成。通过对  $V_o$  的调节可以调节输出四路两同相的数字脉冲 IGBT 驱动信号的脉宽比。

通过分别建立动态波形设定、数字控制器和数字 PWM 的 Matlab 模型, 组成了数字控制单元的仿真模型, 达到对全数字控制核心进行仿真的目的。

### 1.4 送丝单元模型

在 CO<sub>2</sub> 焊短路过渡数字控制系统的动态行为仿真模型的研究中, 送丝系统的动态行为也是一个不能忽略的因素。送丝系统的振动等因素往往会对 CO<sub>2</sub> 焊接过程的稳定性造成影响。

在实际送丝机构中, 采用印刷电机, 送丝速度通过电枢电压反馈来控制, 以达到恒速控制。图 8 为送丝单元的仿真模型, 图中  $L_{eq}$  和  $R_{eq}$  分别为电机的等效电感和等效电阻,  $K_t$  为力矩常数,  $J_{eq}$  则是送丝电机负载的转动惯量,  $B_{eq}$  是整个机械旋转系统的阻尼常数。送丝电机的输入量为电压给定量  $U_s$ , 输出为送丝速度  $v_s$ ,  $K_f$  为电枢电压反馈系数。

### 1.5 短路过渡负载单元模型

#### 1.5.1 动态电压负载模型

短路过渡电弧的燃弧是周期性的重燃-熄灭过程, 因而在短路过渡的燃弧期间和短路期间, 电压负载表示有着各自不同的形式。燃弧期间, 焊接电压

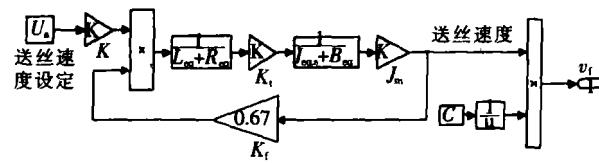


图 8 送丝单元模型

Fig. 8 Simulation model of wire feed unit

可以表示为

$$U_f = U_l + U_s + U_{arc}, \quad (3)$$

式中:  $U_l$  为干伸长电压;  $U_{arc}$  为电弧电压;  $U_s$  为回路电缆的电压。

由于燃弧期间熔滴的长大, 在燃弧期间干伸长  $l_s$  应该包括两个部分, 一部分是固体干伸长  $l_{es}$ , 另一部分是熔滴熔化形成的液体干伸长  $l_{ed}$ <sup>[3]</sup>。

$$U_l = I \rho l_s = I \rho (l_{es} + l_{ed}), \quad (4)$$

式中:  $\rho$  为单位干伸长的电阻。仿真中选取  $\rho$  为 0.1319 Ω · m。

熔化极气体保护焊电弧电压<sup>[4]</sup>可表示成为

$$U_{arc} = U_0 + R_a I + E_a l_{arc}, \quad (5)$$

式中:  $U_0$ 、 $R_a$  和  $E_a$  分别是电压常量(阴阳极压降之和)、弧柱电阻和电场强度;  $l_{arc}$  为电弧弧长。仿真模型中  $U_0$  为 16 V,  $R_a$  为 0.04 Ω,  $E_a$  为 1770 V/m。

短路期间, 电弧熄灭, 液桥部分不能简单用固体干伸长来等效, 因而采用液桥电压  $U_{br}$  来表示。焊接电压由干伸长压降  $U_l$ 、液桥部分电压  $U_{br}$  及回路电缆的电压  $U_s$  组成, 焊接电压可以表示为

$$U_f = U_l + U_s + U_{br}. \quad (6)$$

其中  $U_{br}$  的计算根据短路期间液桥电阻的动态变化与焊接电流来计算。

根据上面所建立的燃弧期间与短路期间的电压负载数学模型, 所建立的动态电压负载模型如图 9 所示。模型中短路与燃弧期间电压负载的切换采用短路燃弧判断信号 Short detect 来进行。其中  $U_s$  作为与可控恒流源的连接在模型没有表示出来。

### 1.5.2 弧长变化模型

在燃弧期间, 干伸长构成如下式所示

$$l_s = l_{es} + l_{ed}. \quad (7)$$

固体干伸长变化的方程式为

$$\frac{dl_{es}}{dt} = \frac{M_R}{\pi R_w^2}, \quad (8)$$

式中:  $v_f$  为送丝速度;  $R_w$  为焊丝半径;  $M_R$  为单位时间内的熔化体积, 其计算由下式给出

$$M_R = C_2 \rho l_{es} + C_1 I \quad (9)$$

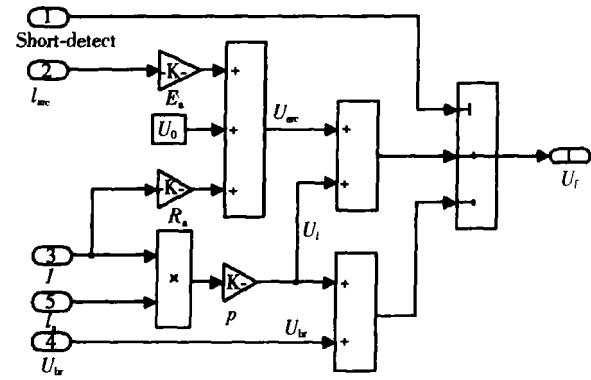


图 9 动态电压负载模型

Fig. 9 Simulation model of dynamic welding voltage

式中:  $C_1$ 、 $C_2$  都是熔化系数常数, 其中液体干伸长的单位干伸长电阻等效与固体干伸长电阻相同, 用单位干伸长的电阻  $\rho$  来表示。仿真模型中  $C_1$  和  $C_2$  分别为  $5.22 \times 10^{-10} \text{ m}^3 / (\text{A} \cdot \text{s})$  和  $2.88 \times 10^{-10} \text{ m}^3 / (\text{A}^2 \cdot \Omega \cdot \text{s})$ 。

液体干伸长的变化根据熔化的熔滴体积计算, 其计算由熔滴体积  $V_d$ 、焊丝半径  $R_w$  来决定。其中  $V_d$  的计算公式为

$$V_d = \int_0^{T_e} M_R dt \quad (10)$$

式中:  $T_e$  为当前时刻;  $V_d$  表示熔滴未与熔池接触前的体积, 它由熔化金属的体积所决定。弧长、干伸长和导电嘴与工件之间的距离  $CT$  关系为

$$l_{arc} = CT - l_s. \quad (11)$$

当  $l_{arc} = 0$  时, 进入短路阶段, 通过所产生的 Short detect 激活短路子系统, 进行相应的负载计算。

所建的弧长变化模型如图 10 所示。模型中导电嘴与工件之间的距离  $CT$  为 0.012 m, 初始干伸长  $l_{in}$  为 0.01 m。

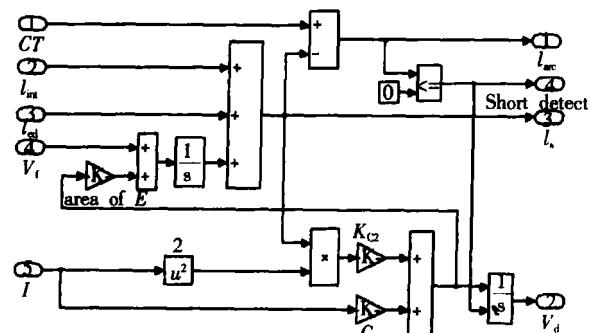


图 10 弧长变化模型

Fig. 10 Simulation model of arc length change

### 1.5.3 液桥行为模型

在短路期间, 焊丝与熔池之间形成液桥, 不存在

着电弧的燃烧, 其负载特性和过渡行为往往由液桥的变化来决定。

为了简化处理, 在假设液桥为两个对称圆台的情况下, 其形状特征可以用中心截面半径  $R_1$ 、外曲面半径  $R_2$  和液桥高度  $h_b$  来表示。如图 11 所示。

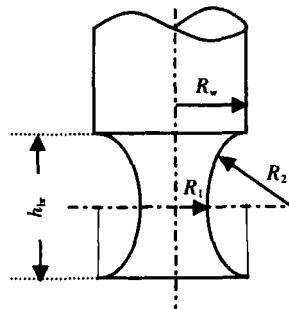


图 11 液桥形状定义

Fig. 11 Shape of liquid bridge

通过文献 [5] 中给出的液桥中心截面的平均压力计算式 (12), 可以得出中心截面平均压力为

$$p_{av} = \frac{\mu_0 I^2}{8\pi^2 R_1^2} + \gamma \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (12)$$

式中:  $\mu_0$  表示真空磁导率;  $\gamma$  为表面张力系数。仿真模型中  $\mu_0$  为  $4\pi \times 10^{-7}$  H m,  $\gamma$  为 1.2 N/m。

在液桥内的流体流速和焊接熔池对液桥的压力可以忽略的情况下, 液桥与熔池接触面的流体速度  $v$  可以根据平均压力和液桥的高度进行计算, 其计算公式为

$$v = \sqrt{\frac{2}{\rho_w} (p_{av} + \rho_w gh_{br})}, \quad (13)$$

式中:  $\rho_w$  为液体金属的密度, 为了计算的简化, 在实际计算选取与固体金属相同, 取  $\rho_w$  为 7800 kg/m<sup>3</sup>,  $g$  为重力加速度。

在短路期间, 液桥体积的变化不但要考虑液态金属向熔池过渡, 也要考虑焊丝熔化, 因而其离散化的计算公式为

$$V_{br}(n) = V_{br}(n-1) + V_d(n) - V_d(n-1) - \pi R_w^2 v \times \Delta T, \quad (14)$$

式中:  $\Delta T$  为仿真步长。

液桥的电压可以采用下式来计算

$$U_{br} = R_{br} = \frac{\rho_l I h_{br}}{\pi R_w R_1}, \quad (15)$$

式中:  $\rho_l$  为液态金属的电阻率, 仿真中其值为  $10.1 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ ;  $R_{br}$  为液桥电阻。

为了更加真实模拟实际的短路过渡过程, 短路结束判断条件采用液桥的电爆炸理论来进行判定。该理论认为短路期间液体小桥的破坏是伴随着缩颈的减小, 电流的增大, 从而使液体小桥处电流密度急剧增加, 导致小桥在能量积聚作用下破断。根据国外学者研究表明, 导体的电爆炸一般发生在电流密度为  $(1 \sim 5) \times 10^{11} A/m^2$  时<sup>[6]</sup>。文中选取电流密度为  $3 \times 10^{11} A/m^2$  时, 因而短路结束的判断条件为

$$J = \frac{I}{\pi R_1^2} \geq 3 \times 10^{11} A/m^2. \quad (16)$$

所建液桥行为模型如图 12 所示。模型以导电嘴到工件的距离  $CT$ , 固体干伸长  $l_{es}$ 、焊接电流  $I$  熔化金属体积  $V_d$  为输入量。输出量为液桥电压  $U_{br}$ , 短路信号 Control 及一次过渡后的金属体积  $V_{br}$ 。

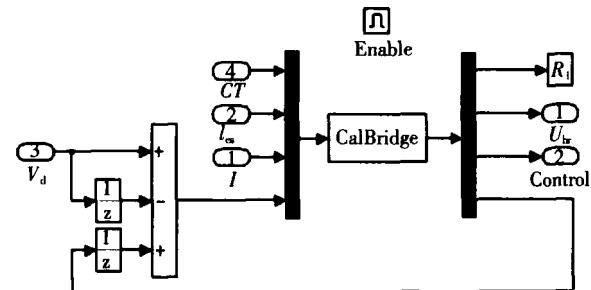


图 12 液桥行为模型

Fig. 12 Simulation model of liquid bridge

连接以上的动态电压负载模型、弧长变化模型和液桥行为模型, 从而构成了短路过渡负载的仿真模型。因而在 Matlab/Simulink 环境下建立了“功率变换电路单元—数字控制单元—送丝单元—短路过渡负载单元”的 CO<sub>2</sub> 焊短路过渡数字控制系统仿真模型, 实现了 CO<sub>2</sub> 气体保护焊的系统级建模。

## 2 仿真结果与试验

### 2.1 仿真结果

仿真中燃弧电压的设定值为 21 V, 电流波形则按 140 A 时的波形控制方案的值来设定。

采用所建立的全数字控制 CO<sub>2</sub> 焊短路过渡系统仿真模型, 仿真所得到的焊接电压、焊接电流波形如图 13 所示。

### 2.2 试验实测波形

为了验证模型的合理性及实用性, 进行了工艺试验。试验焊接电源系统采用自行研制的全数字控制 CO<sub>2</sub> 焊机进行, 硬件系统采用 MCU+DSP 的双机架构, 以 CPLD 实现数字 PWM 单元。整个 CO<sub>2</sub> 焊

接控制系统采用软件编程来实现。

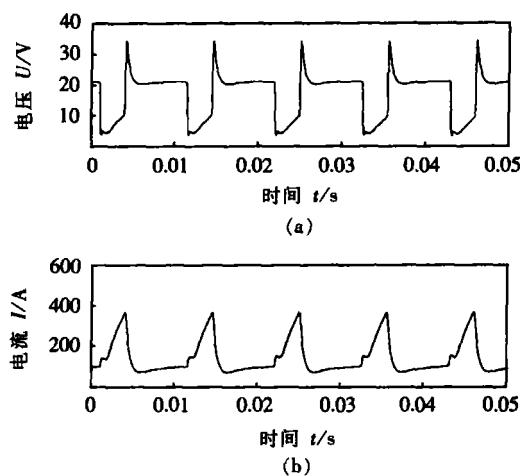


图 13 焊接电压与电流仿真波形

Fig. 13 Simulation waveforms of welding current and voltage

图 14 为 CO<sub>2</sub> 焊短路过渡全数字控制焊接试验的实测波形。试验条件为焊丝直径  $\phi 1.2\text{ mm}$ , 保护气体 100% CO<sub>2</sub>, 流量 15 mL /min 在电压 20 V。

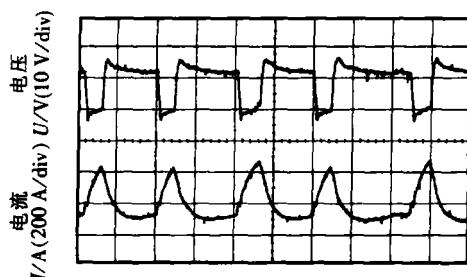


图 14 焊接电压与电流实测波形

Fig. 14 Experiment waveforms of welding voltage and current

### 2.3 结果讨论

从图 13 和图 14 中的仿真与实测波形比较可见, 仿真结果和试验结果基本一致, 证明所建的 Simulink 模型是可靠的, 模型建立的方法是正确的。

燃弧期间, 刚进入燃弧时的燃弧电压值比实测值高, 原因在于从短路期间液桥负载切换到燃弧期间电弧负载时仍然存在着突变。

短路期间, 初期的电流抑制效果比实测波形明显, 证明所建立短路期间的液桥行为模型仍然不够精确, 还需要进一步研究。

### 3 结 论

(1) 基于 Matlab/Simulink 建立了“功率变换电路单元—数字控制单元—送丝单元—短路过渡负载单元”的 CO<sub>2</sub> 焊短路过渡数字控制系统仿真模型, 实现了 CO<sub>2</sub> 焊短路过渡数字控制系统的系统建模。

(2) 试验表明, 所建立的系统仿真模型能够模拟实际的 CO<sub>2</sub> 焊短路过渡的动态过程, 可以用于指导实际数字控制系统的设计。

(3) 模型中考虑了熔滴的动态行为, 使动态过程仿真结果更加接近于实际情况。熔滴过渡行为仿真模型也可以应用于其它熔化焊方法的仿真。

### 参考文献:

- [1] Zhang Guangxian Zhou Zengda Chen Renfu et al. Research on simulation for surface tension transmation in CO<sub>2</sub> arc welding [J]. Transactions of the China Welding Institution 2003 24(4): 68–72.
- [2] Zeng Meiqi Cao Biao Huang Shisheng et al. Simulation research on waveform control high speed welding system [J]. Transactions of the China Welding Institution 2003 24(6): 55–59.
- [3] Mohamed Abdel Rhman. Feedback linearization control of current and arc length in GMAW system [C]. USA: Proceedings of the American Control Conference 1998.
- [4] Choi JH Lee JY Yoo C D. Simulation of dynamic behavior in a GMAW system [J]. Welding Journal 2001 80(10): 239s–245s.
- [5] Lancaster J F. The physics of welding art [M]. Pergamon Press 1986.
- [6] Заруба и. Электрический взрыв как причина разбрызывания металла [J]. Автоматическая Сварка 1970 22(3): 65–70.

**作者简介:** 冯曰海, 男, 1976 年出生, 博士研究生。主要研究方向为新型焊接设备及焊接过程自动化, 发表论文 4 篇。

E-mail: fuhb@emails.bjut.edu.cn

welded joint the first principal shear angle

### Interface structure and distribution characteristics of vacuum fusion sintered Ni-based alloy coating containing rare earth element

XUAN Tian peng, M IN Da, HUO Y ing (Material Science and Engineering Institute, Hefei University of Technology, Hefei 230009 China). p19 - 22 26

**Abstract** The microstructure, phase structure and distributing characteristics of alloy elements and microhardness of vertical section of vacuum fusion sintered Ni-based alloy coatings were studied in this paper. The results showed that rare earth elements (Ce + La) improved structure of Ni60 coating, needle shaped phase transformed to small globular shaped phase, and the metallurgical binding of interface between the steel matrix and coating was reinforced. New second phases WC, Ni<sub>2</sub>B, NiB and Cr<sub>6</sub>N<sub>2.5</sub>Si precipitated in Ni60+RE coating. Rare earth elements held back the diffusion of Ni, Cr and Si atoms from coating to steel matrix and Fe atom from steel matrix to coating, and alleviated dilution function of Fe atom from steel matrix to Ni based alloy coating. Rare earth elements increased Ni, Cr and Si contents and decreased Fe content in the coating too. The microhardness of Ni-based coating could apparently be enhanced by introduction of rare earth elements and microhardness values of two kinds of coating reached their maximum values at 0.4 mm near by coating surface.

**Key words** Ni60 self fluxing alloy, rare earth element, structure, microhardness

### Design and analysis of engine drive arc welding inverter and its control system

GA I Zhi wu, DA I Jing min (Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China). p23 - 26

**Abstract** Generating and welding dual use set consists of generator welding inverter automatic control system and internal combustion engine controlled by speed regulator. Each winding of the generator consists of four parts. When the parts were connected in series by shifting switch, the set can serve as general generator when they are in parallel, the set serves lower AC voltage to welding inverter. Thus high frequency transformer is not needed anymore in welding inverter. Analysis and calculation show that harmonic waves can lead to obvious difference between effective value and mean value of voltage and the output voltage rectified by diode bridge varies with load. So the controller for excitation system is designed to collect the voltage rectified by diode bridge as its input. Hence the dual use set has proved to be low cost, multifunctional, reliable, stable, easy to maintain and have a good dynamic characteristics which also provides the foundations for more advanced control.

**Key words** electricity generating, electric welding machine, inverter, optimization, control

### Modeling and simulation of full digital controlled CO<sub>2</sub> arc welding system based on Matlab/Simulink

FENG Yue hai, LIU Zhen-yang, LIU Jia, YIN Shu yan (College of Mechanical Engineering and Applied Electronics Technology, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China). p27 - 32

**Abstract** This paper presents an integrated simulation for full digital controlled welding system for CO<sub>2</sub> short circuiting welding using Matlab Simulink which consists of power inverter unit, digital control unit, wire feeder unit and short circuiting load unit. This full digital control inverter system for CO<sub>2</sub> arc welding was investigated from the point view of a whole part. The dynamic change processes of the droplet in short circuiting period and arcing period were considered in short circuiting load model and the signals of short circuiting and arcing switching were determined using the change of arc length and the theory of electricity explosion so the effect of full digital control was directly embodied by the behavior of the droplet and welding arc. The experimental results validated the developed simulation model and this simulation model can be applied to the research of digital regulator rules and dynamic behavior of CO<sub>2</sub> short circuiting welding with full digital controlled system.

**Key words** full digital controlled system, waveform control simulation model, short circuiting transfer, CO<sub>2</sub> arc welding

### Microstructure and properties of TiB<sub>2</sub> metal ceramics coatings by plasma transferred arc surfacing

WANG Xiao feng, SHAN Ping, WANG Xiba, HU Sheng sun (School of Materials Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China). p33 - 36 43

**Abstract** The TiB<sub>2</sub> whisker was synthesized in situ during the reaction of the alloy powders employing the plasma arc powder surfacing. Optical metallography, scanning electron microscope, X-ray diffraction, hardness measuring and the crack resistant property were investigated. The results showed that the ceramic coatings mainly consisted of the TiB<sub>2</sub> whisker and the chemical compound of Fe, C and B and the coatings and the matrices were metallurgical bonded. The crack resistant property of the coatings was superior to that without TiB<sub>2</sub> whisker.

**Key words** plasma arc powder surfacing, TiB<sub>2</sub>, metal ceramic structure, crack resistant property

### Evaluation of nugget size and characteristics of influencing factors in resistance spot welding of aluminum

LUO Xian xing, DENG Li peng, ZHANG Chen shu, JI Chun tao (Nanchang Institute of Aeronautical Technology, Nanchang 330034, China). p37 - 43

**Abstract** In resistance spot welding, weld quality is influenced by many factors which are coupled to each other and at the same time behave different features. With a test system developed in this project, the features of these influencing factors can be drawn and analyzed based on the data acquired during welding. An online aluminum spot weld qual-