

具有时变输出特性的 CO₂ 弧焊 电源控制系统

都 东 韩赞东 潘雪峰 张人豪
(北京 清华大学)

杜占平 孙建广
(天津 河北工业大学)

摘 要 建立了单片机控制的 IGBT 逆变弧焊电源系统, 能够根据电弧的状态实时调整其外特性, 满足焊接工艺要求。用于 CO₂ 焊接过程的控制, 成功地减少了燃弧过程中的瞬时短路次数, 降低了飞溅率, 并提高燃弧功率, 改善了焊缝成形。该方法对焊接过程中弧长的扰动具有较强的适应性, 尤其适于半自动焊接过程。

关键词: 时变外特性 CO₂ 焊接 飞溅 焊缝成形

0 序 言

CO₂ 焊接由于具有高效节能、抗锈且低氢等优点而得到广泛应用, 但其飞溅较大、焊缝成形欠佳。其改善途径: 一是通过焊接材料来改变熔滴过渡方式; 二是利用焊接设备来实现对电弧和熔滴过渡的控制^[1], 均取得了一定的效果。

本文将控制功能强的单片机和动态性能好的逆变电源相结合, 建立了微机控制的逆变电源弧焊系统。用于 CO₂ 焊接过程控制时, 通过判断熔滴过渡不同阶段电弧所处的状态, 根据焊接工艺的要求(减少飞溅、改善焊缝成形), 快速调整电源外特性, 以输出合理的焊接电流或电弧电压, 保证焊接质量。

1 控制系统的建立

所建立的逆变电源微机控制系统如图 1 所示。

功率电路以 IGBT 逆变器为核心构成, 其工作频率为 25kHz, 额定输出 400A。基本控制电路采用本脉冲反馈控制来保证在全负载范围内输出电流调整的快速性和准确性^[2]。

微机控制系统对焊接过程三种工作状态(短路、空载、燃弧)的检测是通过焊接状态识别电路来实现的, 弧压信号 U_f 是判断焊机三种工作状态的主要依据。当逆变电源进入某一工作状态时会产生相应的中断信号, 单片机根据不同的中断请求来识别焊接过程所处的状态, 并通过电流电压采样电路进一步分析焊接工艺的要求, 以此为依据来调整电源的输出外特性。这种方式控制速度快, 无需查询时间, 非常适合于焊接过程的实时控制^[2]。

电源输出外特性的控制是通过调整电流给定值 I_g 和电压给定值 U_g 实现的。当 I_g 为恒值时逆变电源输出恒流外特性, 当 I_g 随着时间和电弧状态而变化时, 输出即为时变外特性。

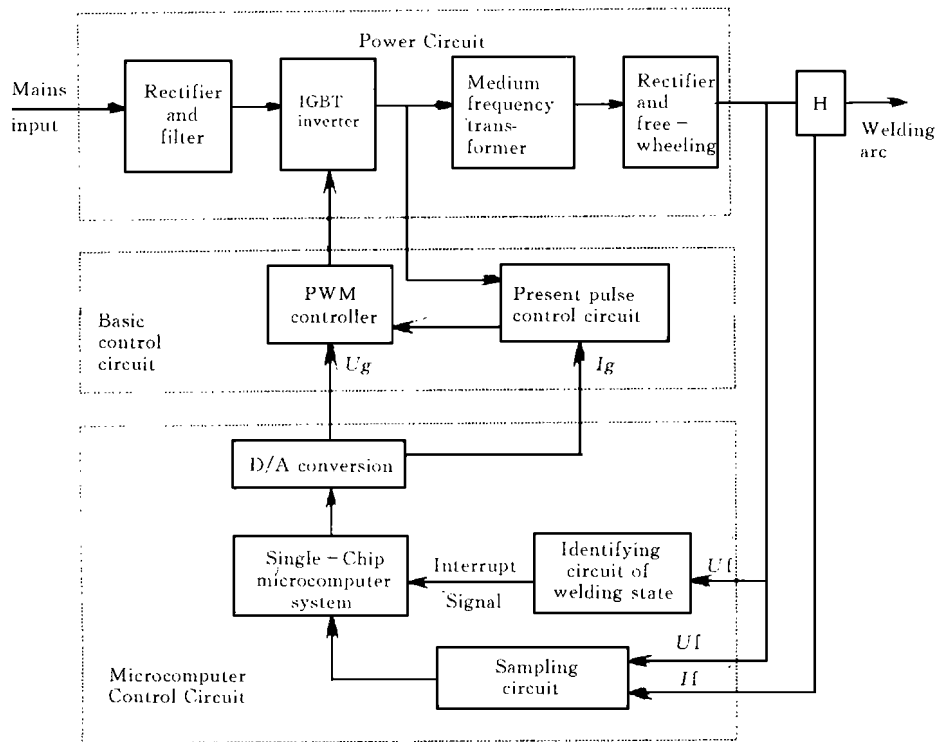


图 1 逆变电源微机控制系统原理框图(H 为电流传感器)

Fig. 1 Principle structure of microcomputer control system for inverter power source
(H is a current sensor)

2 时变输出特性控制

电爆炸理论认为 CO₂ 焊接过程的飞溅主要是由于短路期间液态小桥的过热爆炸引起的, 可通过适时调节电源输出加以控制; 统计规律显示, 减少瞬时短路(短路时间 $T_s < 1 \sim 2\text{ms}$) 次数有利于降低飞溅; 研究表明提高燃弧能量有利于改善焊缝成形。基于上述分析, 为减少飞溅、改善成形, 电源系统在熔滴过渡的不同阶段应输出不同的外特性, 如图 2 所示。焊接过程的实测电流、电压波形如图 3 所示。

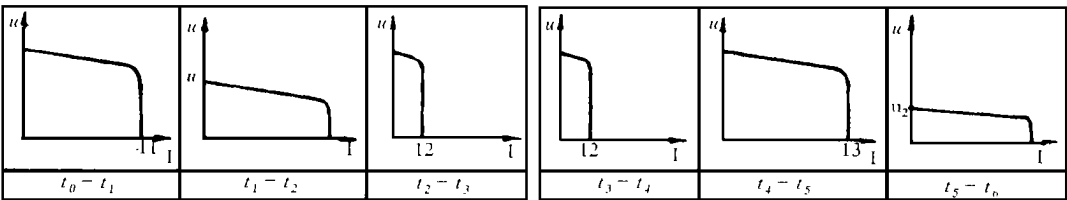


图 2 焊接过程各阶段的电源输出特性

Fig. 2 Output characteristic of power source in different period of welding process

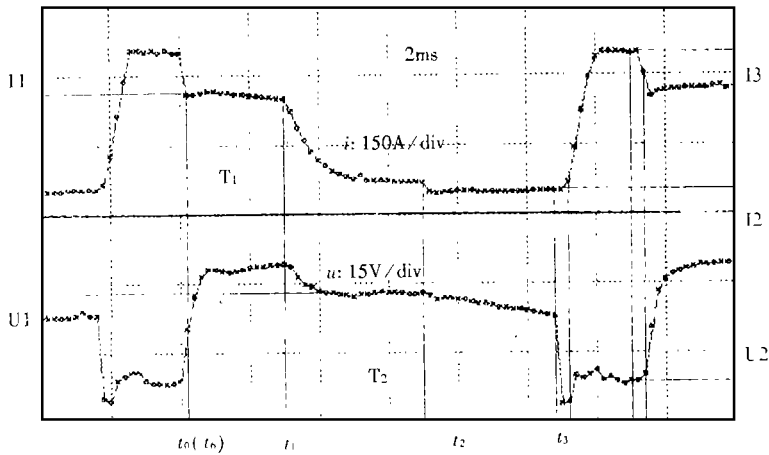


图 3 焊接过程的实测电流、电压波形

Fig. 3 Real current and voltage wave in welding process

CO₂ 焊接过程的熔滴过渡周期分为如下六个阶段。

- (1)燃弧前期 $t_0 \sim t_1$: 电源定时 (T_1) 输出燃弧大电流 I_1 , 以赋予电弧空间较大的能量, 保证短路过后再燃弧过程的稳定性, 同时有利于焊缝成形。
- (2)燃弧中期 $t_1 \sim t_2$: 电源定时 T_2 输出平特性 U_1 , 以加强电弧的自身调节作用, 保证焊接过程稳定。
- (3)燃弧后期 $t_2 \sim t_3$: 将焊接电流降至 I_2 , 限制熔滴进一步长大, 并使其在较小的电磁阻力下接触熔池形成小桥, 减小飞溅。
- (4)短路前期 $t_3 \sim t_4$: 熔滴短路后, 电源持续输出 I_2 一定时间, 以减小此时电磁收缩力对熔滴过渡的阻碍作用, 保证形成可靠的液态小桥, 增加熔滴过渡的柔顺性。
- (5)短路中期 $t_4 \sim t_5$: 电源输出高值短路电流 I_3 , 以增加电磁收缩力, 促使熔滴快速过渡。
- (6)短路后期 $t_5 \sim t_6$: 液态金属小桥出现缩颈时, 电源输出低的平特性 U_2 , 由于负载等效电阻的增加, 使得输出电流沿平特性衰减, 从而降低电爆炸能量, 减小飞溅。

该控制方法中, 固定的 T_1 、 T_2 时间保证了焊接过程熔滴及熔深的一致性; 而弹性的 $t_2 \sim t_3$ 时间可适应熔池波动和焊炬抖动等因素带来的弧长扰动, 保证焊接过程稳定; 燃弧后期小电流减小了瞬时短路的可能性, 降低了飞溅率。

由图 3 可知, 在短路后期焊接电流的衰减不明显, 未能很好起到降低电爆炸能量的目的。其原因在于电源系统输出回路中不可避免地存在感抗 (包括输出电缆), 限制了电流变化速度。对于所使用的逆变电源, 其输出回路等效感抗 $L = 40\mu\text{H}$, 设短路负载等效电阻 $R = 0.02\ \Omega$, 则逆变器输出回路开环时间常数 $\tau = L/R = 2\text{ms}$ 。这一技术障碍限制了短路后期低恒压特性控制的实际效果。解决的方法是在小桥缩颈时刻通过电路切换来提高输出回路阻抗, 减小时间常数^[3]。

3 试验效果

3.1 焊接过程的适应性

试验表明,当送丝速度一定,而焊枪导电嘴与熔池的距离在较大范围变化时,仍能保证焊接过程稳定,如图 4 所示。

3.2 飞溅与成形

CO₂ 焊接过程的时变外特性控制与平特性(附加电流截止负反馈)控制结果如表 1 所示。

可以看出,时变外特性控制过程的瞬时短路频率为 0,金属飞溅明显减少,飞溅率相当于后者 1/3;从熔滴过渡周期变异系数可知,时变外特性控制的焊接过程稳定,其实测焊接电压、电流波形如图 5 所示,反映出熔滴体积和焊缝成形均匀一致;而燃弧能量的提高增加了熔深和熔宽,使得时变外特性控制的焊缝成形明显改善。

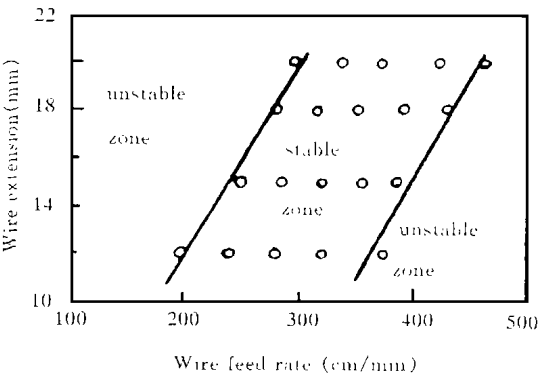
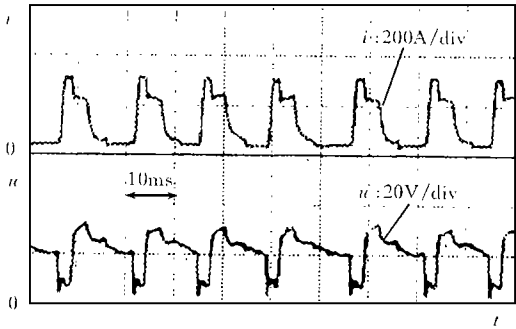


图 4 稳定焊接过程的参数范围
Fig. 4 Parameter range of stable welding process

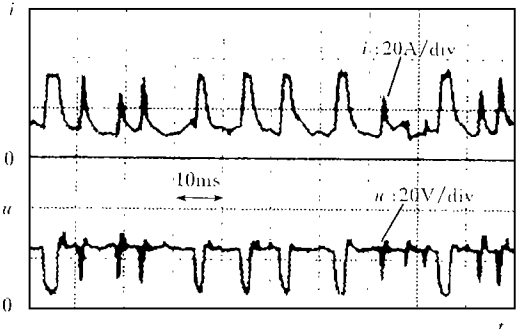
表 1 CO₂ 焊接过程的时变外特性控制与平特性控制结果

Table 1 Control result of time—dependent output characteristic and horizontal output characteristic in CO₂ welding process

Control method	Control of the time—dependent output characteristic	Control of the conventional flat output characteristic
Frequency of molten droplet transfer(Hz)	63	108
Instantaneous short circuit frequency(Hz)	0	43
Relative standard deviation of the metal transfer cycle	0. 24	0. 53
Arcing energy in one second(kJ)	2. 27	1. 71
Average arcing power(kW)	2. 95	2. 32
Spatter rate(%)	2. 46	6. 61
Enhancement ratio(B/ a)	3. 08	2. 54



(a) Control result of time—dependent output characteristic



(b) Control result of horizontal output characteristic

图 5 实测电流、电压波形

Fig. 5 Real current and voltage wave

4 结 论

(1) 建立的微机控制逆变电源弧焊系统, 可以通过焊接电流和电压以及它们的变化状况分析电弧的状态, 根据焊接工艺的要求, 实时调整电源输出特性。

(2) 以飞溅与焊缝成形的理论为基础, 实现了 CO_2 焊接过程的时变外特性控制, 减小了飞溅, 改善了焊缝成形, 并对弧长扰动具有较强的适应能力。

(1997—02—19 收到初稿, 1997—08—02 收到修改稿)

参 考 文 献

- 1 Elliott k, Stava. A new, Low—Spatter Arc Welding Machine. *Welding Journal*, 1993, 1: 25 ~ 29
- 2 都东等. 单端正激 IGBT 逆变式弧焊电源的工作状态及其控制. *中国机械工程*, 1997.
- 3 林肯电学公司. 控制短路型焊接系统的方法和装置. 中国专利, 87103550. 89—06—21

Control System for CO_2 Welding Power Source with Time—dependent Output Characteristic

Du Dong, Han Zandong, Pan Xuefeng, Zhang Renhao
(*Tsinghua University*)

Du Zhanping, Sun Jianguang
(*Hebei University of Technology*)

Abstract A microcomputer control system for arc selding with IGBT inverter power source was developed in this paper, which is able to meet the requirement of the welding process by adjusting the output characteristic according to arc states. The system reduses instantaneous short circuit possibility and spatter during CO_2 welding process, increases burning arc power and improves bead formation. Experiments have proved that it has strong adaptability to distrurbance of arc length, and is particularly suitable for semi—automatic welding process.

Key words time—dependent output characteristic, CO_2 welding, spatter, bead formation