

交流脉冲 MIG 弧焊电源及弧长控制

杭争翔, 殷树言, 黄鹏飞

(北京工业大学, 北京 100022)



杭争翔

摘 要: AC PMIG 的控制模式是一周一脉一滴, 脉冲电流设计在电弧 EP 极性时间里, 其余时间均为基值电流。弧焊电源一次逆变控制电流快速动态过程, 二次逆变控制电弧极性。控制系统采用双闭环结构, 内环模拟控制电弧电流, 外环 80C196KC 单片机控制电弧电压及电弧极性。根据电弧电压偏差信号及电弧状态, 设计了四个控制规则及其控制参数的计算方法。正常焊接状态时变频控制交流脉冲频率。采用这种控制方案, 获得了稳定性高、熔滴过渡均匀的焊接过程。

关键词: 交流; MIG 焊; 电源; 控制

中图分类号: TG434.5 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2003)02-83-04

0 序 言

交流 MIG 焊接工艺早就被提出并且有一些研究工作, 比较近期的研究工作是双凹形焊接电流控制方案, 解决的主要问题是以交流电弧克服直流电弧的磁偏吹^{1,2}。

随着时代发展, 应产品轻量化要求, 薄板特别是铝合金薄板被大量应用, 其制造过程中有很多薄板需要电弧焊。焊接薄板时最容易出现的质量问题是熔池下塌, 为此需要研究焊接熔池浅、焊接速度快的焊接工艺, 在稳定焊接质量的同时, 提高焊接效率。

钨极氩弧焊(TIG welding)虽然可以焊接薄板, 但是焊接速度低、焊接变形大。直流且焊丝为正极性的脉冲熔化极氩弧焊(DCEP PMIG welding)虽然电弧稳定, 熔滴过渡容易, 但是电弧穿透力强, 焊缝熔深大, 不利于焊接薄板。直流且焊丝为负极性的熔化极氩弧焊(DCEN MIG welding)电弧稳定性不好, 电弧力不利于熔滴过渡, 焊缝熔深浅, 容易产生融合不良、凸焊道等焊接缺陷, 不能稳定焊接³。

交流脉冲熔化极氩弧焊(AC PMIG welding)电弧由 EP 极性 & EN 极性构成, 可以看成是交替切换 DCEP PMIG 电弧及 DCEN MIG 电弧形成的。AC PMIG 的电弧力及电弧热的特点介于 DCEP PMIG 及 DCEN MIG 之间, 其焊缝熔深应该介于二者之间, 其最大的焊缝熔深是 DCEP PMIG 的焊缝熔深。

另外焊接薄板时焊接电流较小, 电弧挺度弱, 电弧容易受电弧磁偏吹的影响, AC PMIG 电弧可以克服直流电弧的磁偏吹, 有利于稳定焊接过程及焊接

质量。

1 AC PMIG 弧焊电源构成

图 1 是 AC PMIG 弧焊电源构成图, 主要由一次逆变电路(VT₁~VT₄ 构成全桥逆变电路)、二次逆变电路(VT₅、VT₆ 构成推挽逆变电路)、电流电压控制系统等构成。一次逆变采用 PWM 控制, 逆变频率 20 kHz。二次逆变采用 PFM 控制, 变频控制二次逆变电路实现 AC PMIG 电弧极性变换及交流脉冲频率调节。一次逆变、电流反馈、电流调节等环节构成电流闭环控制系统, 它是电源控制系统的内环, IC 是电流调节器, 由硬件电路实现。内环电流环具有较高的动态跟随性能。

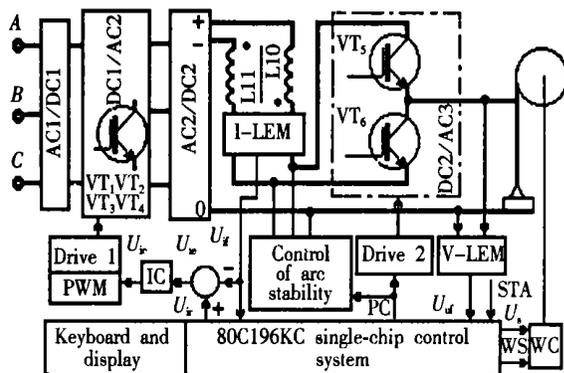


图 1 AC PMIG 弧焊电源构成

Fig. 1 Schematic diagram of AC PMIG arc welding power source

图 1 中 80C196KC 单片机控制系统构成电源控制系统的外环, 控制电弧电压、熔滴过渡及电弧极

性。80C196KC 单片机控制系统主要输入信号有两个模拟量: 电弧电压反馈信号 U_{uf} , 电弧电流反馈信号 U_{if} 。这两个模拟量经单片机 A/D 端口输入。单片机控制系统主要输出信号有一个模拟量: 焊接电流目标信号 U_{ir} , 由扩展 D/A 输出通道输出; 一个数字量: 电弧极性控制信号 PC, 由单片机高速输出端口 HSO.0 输出。

2 AC PMIG 控制原理

图 2a 是 AC PMIG 正常焊接时的电弧电流 I_a 波形模式图, 图 2b 是单片机控制系统输出电弧电流目标信号 U_{ir} , 图 2c 是单片机控制系统输出电弧极性控制信号 PC。 U_{ir} 又是内环电流环的输入信号, 在内环电流环的控制作用下, 电源输出电流的绝对值跟随 U_{ir} 变化。 PC 控制二次逆变电路, PC 为低电平时电弧 EP 极性; PC 为高电平时电弧 EN 极性。 U_{ir} 与 PC 协调控制电弧电流及电弧极性。

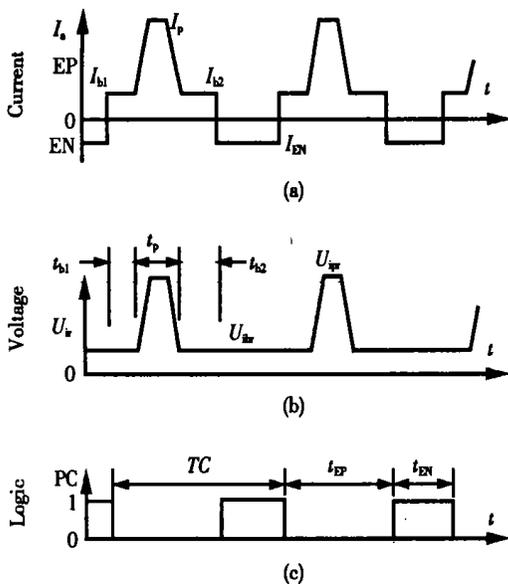


图 2 AC PMIG 电弧电流波形模式及控制原理示意图

Fig. 2 AC PMIG arc current wave pattern and control principle schematic

AC PMIG 交流电弧由 EP 极性及其 EN 极性构成。 EP 极性电弧有利于熔滴过渡, EN 极性电弧不利于熔滴过渡, 所以熔滴过渡过程设计在电弧 EP 极性时间里。射滴过渡是最好的熔滴过渡形式, 为了在较宽焊接规范下实现这种熔滴过渡形式, 以电弧 EP 极性脉冲电流控制实现。在一个 EP 极性时间里只有一个脉冲电流, 控制脉冲电流 I_p 及脉冲时间 t_p , 实现一个脉冲过渡一个熔滴。一个交流周期时间

TC 内, 除脉冲时间 t_p 之外, 其余时间均为基值时间 (包括 EP 极性基值时间 t_{b1} 、 t_{b2} , EN 极性时间 t_{EN} , 见图 2), 基值时间内的电流值 I_{b1} 、 I_{b2} 、 I_{EN} 要小, 至少不能产生熔滴过渡现象。图 2 表明, AC PMIG 的脉冲频率与交流频率一致, 亦称交流脉冲频率, 熔滴过渡控制形式是一周一脉一滴。

控制 AC PMIG 焊缝熔深的主要参数是焊接电流, 其次的参数是交流电流负极性比率 $EN\%$ 即 EN 极性电流在交流周期电流中的比率。在焊接电流一定的条件下, 通过调节 $EN\%$, 控制焊缝熔深, $EN\% = 0$ 时焊缝熔深最大, $EN\%$ 增加, 焊缝熔深减小。

通常 MIG 焊采用恒压电源, 它具有很强的电弧自调节能力, 但是干扰导致弧长变化时将产生较大电弧电流变化, 从而产生较大的电弧热及电弧力波动。若焊接厚板, 这种波动相对于焊缝熔深的相对值较小, 影响不大。若焊接薄板, 这种波动相对于焊缝熔深的相对值较大, 影响较大。AC PMIG 主要焊接薄板, 闭环控制 AC PMIG 电弧电流 I_a 按预定的 U_{ir} 波形变化, 控制电弧热及电弧力在预定的范围内变化, 控制焊缝熔深波动范围。

通过调节交流脉冲频率实现控制焊丝熔化速度及弧长。反馈实时电弧电压, 若反馈值比目标值大, 则降低交流脉冲频率、减小焊丝熔化速度, 减小实时弧长; 若反馈值比目标值小, 则增加交流脉冲频率, 增加焊丝熔化速度, 增加实时弧长。

实现一周一脉一滴的熔滴过渡, 脉冲电流 I_p 和脉冲时间 t_p 存在一定的关系, 建立二者的数据关系。以脉冲电流 I_p 优先, 查表确定脉冲时间 t_p , 脉冲时间参数自适应脉冲电流。送丝速度优先, 脉冲频率参数自适应送丝速度。

3 AC PMIG 弧长控制规则及控制参数计算

闭环控制 AC PMIG 电弧电压, 实现控制弧长。

80C196KC 单片机用 8 MHz 晶振, T_1 定时器的计数器是字寄存器, 其数值 1 相当于 $2.5 \mu s$ 。单片机控制过程中, 控制时间的变量其时间基准用 T_1 定时器, 其时间单位亦是 $2.5 \mu s$ 。

AC PMIG 电弧脉冲时间内电弧电压反馈值记为 U_{upf} , 基值时间内电弧电压反馈值记为 U_{ubf} 。

采样电弧电压信号的方法如下, 在脉冲时间内, 在脉冲前沿 $200 \mu s$ 之后、脉冲后沿 $200 \mu s$ 之前的时间内, 每隔 $200 \mu s$ 一次 A/D 转换 U_{upf} , 脉冲时间 $2000 \sim 5000 \mu s$, 在此时间内 A/D 转换 $9 \sim 24$ 次; AC

PMIG 交流脉冲焊第 N 周期脉冲时间内采样序列 $U_{upf}(1), U_{upf}(2), \dots, U_{upf}(m), m < [2.5 \times t_p(N) - 400] / 200, t_p(N)$ 是第 N 周期脉冲时间变量; 脉冲时间内的电弧电压反馈信号 $U_{upf}(N) = [U_{upf}(1) + U_{upf}(2) + \dots + U_{upf}(m)] / m$ 。

在基值时间内, 在基值前沿 $200 \mu s$ 之后、基值后沿 $200 \mu s$ 之前的时间内, 每隔 $200 \mu s$ 一次 A/D 转换 U_{ubf} 。AC PMIG 交流脉冲焊第 N 周期基值时间内采样序列 $U_{ubf}(1), U_{ubf}(2), \dots, U_{ubf}(n), n < [2.5 \times TC(N) - 2.5 \times t_p(N) - 400] / 200, TC(N)$ 是第 N 周期的周期时间变量。基值时间内的电弧电压反馈信号 $U_{ubf}(N) = [U_{ubf}(1) + U_{ubf}(2) + \dots + U_{ubf}(n)] / n$ 。

第 N 周期的电弧电压反馈信号 $U_{uf}(N) = [U_{upf}(N) + U_{ubf}(N)] / 2$ 。

第 N 周期的电弧电压偏差信号 $U_{ue}(N) = U_{ur}(N) - U_{uf}(N), U_{ur}(N)$ 是电弧电压目标信号。

根据电弧电压偏差信号及电弧状态设计的控制规则如下:

- 若 $U_{ue}(N) > U_{ue}$ 上限阈值, 则执行控制规则 1;
- 若 $U_{ue}(N) < U_{ue}$ 下限阈值且 $U_{uf} > 0$, 则执行控制规则 2;
- 若瞬时 $U_{uf} = 0$, 则执行控制规则 3;
- 若 U_{ue} 下限阈值 $< U_{ue}(N) < U_{ue}$ 上限阈值, 则执行控制规则 4。

控制规则 1、控制规则 2、控制规则 3 是在电弧受到较大干扰的情况下实行的控制, 因为焊接过程中干扰是不可避免的, 所以必须有相应的控制对策。

控制规则 1: 单片机输出 $U_{ir} = U_{ibr}, PC = 0$, 电弧电流等于基值电流 I_b , 电弧 EP 极性, 时间 $t_p(N)$, 同时采样电弧电压信号 $U_{uf}(N+1) = U_{ubf}(N+1)$, 计算电弧电压偏差信号 $U_{ue}(N+1) = U_{ur}(N+1) - U_{uf}(N+1)$, 确定下周期的控制规则。

控制规则 2: 单片机输出 $U_{ir} = U_{ipr}, PC = 0$, 电弧电流等于脉冲电流 I_p , 电弧 EP 极性, 时间 $t_p(N)$, 同时采样电弧电压信号 $U_{uf}(N+1) = U_{upf}(N+1)$, 计算电弧电压偏差信号 $U_{ue}(N+1) = U_{ur}(N+1) - U_{uf}(N+1)$, 确定下周期的控制规则。

控制规则 3: 插入短路处理程序, 电流递增, 解除短路状态。

控制规则 4: 这是正常焊接状态的控制规则。

第 N 周期的电弧电压偏差信号 $U_{ue}(N) = U_{ur}(N) - U_{uf}(N)$;

第 $N-1$ 周期的电弧电压偏差信号 $U_{ue}(N-1) = U_{ur}(N-1) - U_{uf}(N-1)$;

第 $N-2$ 周期的电弧电压偏差信号 $U_{ue}(N-2) = U_{ur}(N-2) - U_{uf}(N-2)$;

第 N 周期计算出的第 $N+1$ 周期的周期时间值为

$$TC(N+1) = TC(0) - K[AU_{ue}(N) + BU_{ue}(N-1) + CU_{ue}(N-2)],$$

式中: K 是增益系数; A, B, C 是隶属度系数; $TC(0)$ 是基准周期时间值。

$TC(N+1)$ 就是 AC PMIG 交流脉冲 $N+1$ 周期的周期时间值。若弧长减小, 电弧电压偏差 $U_{ue}(N)$ 增加, 脉冲周期时间 $TC(N+1)$ 减小; 若弧长增加, 电弧电压偏差 $U_{ue}(N)$ 减小, 脉冲周期时间 $TC(N+1)$ 增加。

按照 $EN\%$ 比率及电弧电流, 将 $TC(N+1)$ 分解成电弧 EP 极性时间 (字寄存器变量) $t_p(N+1), t_{b1}(N+1)$ 及 $t_{b2}(N+1)$, EN 极性时间 (字寄存器变量) $t_{EN}(N+1)$ 。

AC PMIG 电弧 N 周期内计算出 $N+1$ 周期的时间变量 $TC(N+1), t_p(N+1), t_{b1}(N+1)$ 及 $t_{b2}(N+1), t_{EN}(N+1)$, 在 $N+1$ 周期 (按照图 2 波形) 输出 U_{ir} 及 PC , 控制焊接电流波形及变换电弧极性。

按上面阐述的 AC PMIG 电弧电流波形控制原理及控制规则, 相应的弧焊电源输出电流电压特性如图 3。在弧长较长时以基值电流控制电弧电流, 是恒流控制, 这时电源输出电流电压是恒流特性 A 曲线, 这样可以避免断弧现象, 由控制规则 1 控制实现。短路时以动态的短路电流控制, 按电流上升速度控制增长短路电流, 意图解除短路状态, 电源输出电流电压特性图上形成的是恒压特性 B 曲线, 恒压特性的最大电流 I_{max} 加以限制, 由控制规则 3 控制

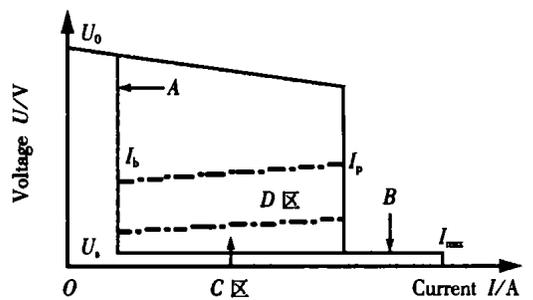
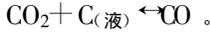


图 3 AC PMIG 弧焊电源输出电流电压特性曲线
Fig. 3 Curves of output current and voltage for AC PMIG arc welding power source

式为



试验结果表明,在 CO_2 气保护条件下,药芯焊丝通过提高自身的 Fe_xO_y 含量,是可以抑制熔池增碳的。而采用 $\text{Ar}+20\%\text{CO}_2$ 气保护焊接,则可以在焊丝自身较少的 Fe_xO_y 含量的情况下达到抑制熔池增碳的目的。

应当指出,焊丝原始含 C 量的减少,也将促进熔池增碳。如果焊丝的原始含 C 量较低,加上焊丝自身的 Fe_xO_y 含量也较低,即便是采用 $\text{Ar}+20\%\text{CO}_2$ 气保护焊接,也可能发生熔池增碳(如 11 号焊丝那样)。

4 结 论

(1) 合金元素 Mn 的过渡均处于损失状态,并且随着焊丝的 Fe_xO_y 含量的增加,其损失越来越大, CO_2 气保护条件的损失比对应的 $\text{Ar}+20\%\text{CO}_2$ 气保护条件的要更大一些。因此,若要减少其损失(即增

加其过渡),减少电弧气氛及焊丝本身的氧化性是比较有效的途径。

(2) 合金元素 C 的过渡则随着焊丝的 Fe_xO_y 含量的增加,由增碳型过渡发展到损失型过渡。 CO_2 气保护比 $\text{Ar}+20\%\text{CO}_2$ 气保护条件更容易发生增碳型过渡。因此,若要抑制增碳型过渡,减少电弧气氛氧化性和增加焊丝本身的氧化性是比较有效的途径。

参考文献:

- [1] GB/T 1 7493—1998, 低合金钢药芯焊丝[S].
- [2] 张修智,殷树言,赵崇仪. 气体保护焊[M]. 北京: 电力工业出版社, 1982.

作者简介: 桂赤斌,男,1949年1月出生,工学博士,教授,中国焊接学会金属焊接性与焊接材料委员会委员。主要研究方向为船舶焊接材料与工艺。

Email: chgui@sohu.com

[上接第 85 页]

实现。在弧长较短时以动态的脉冲电流控制电弧,电源输出电流电压特性图上形成运动轨迹图 C 区,由控制规则 2 控制实现。正常弧长时以动态的脉冲电流以及变换电弧极性控制电弧,电源输出电流电压特性图上形成运动轨迹区 D 区,由控制规则 3 控制实现。

图 4 是控制实现的 AC PMIG 焊接铝合金时的电弧电流波形(1)以及电弧电压波形(2)。焊接试验证明,AC PMIG 控制方法是正确的,焊接过程稳定,熔滴过渡稳定,抗干扰能力好。

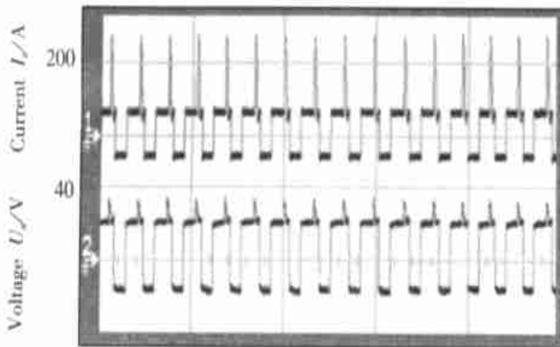


图 4 AC PMIG 焊接电流(1)、电压(2)波形

Fig. 4 AC PMIG welding current I_a (1) and arc voltage U_a (2)

4 结 论

(1) AC PMIG 弧焊电源电路采用双逆变结构,控制系统采用双闭环控制结构,电源结构满足焊接工艺过程控制的要求。

(2) 根据 AC PMIG 电弧电压偏差信号及电弧状态,设计了相应的控制规则及控制参数计算方法。正常焊接状态时变频控制交流脉冲频率,干扰状态时有相应的控制规则。焊接试验表明,焊接过程具有很强的稳定性及抗干扰能力。

参考文献:

- [1] 潘际奎. 现代弧焊控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000. 143~168.
- [2] 焦向东,潘际奎,张 焯. 交流 MAG 焊接电弧稳定性及其控制[J]. 焊接学报, 1998 19(1): 47~53.
- [3] 殷树言,张九海. 气体保护焊工艺[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1989. 47~56.

作者简介: 杭争翔,男,1961年8月1日出生,博士研究生,副教授,主要研究方向是焊接工艺及焊接过程自动化,发表论文 10 余篇。

Email: hangzx6181@sina.com.cn