

# 获得多种波形点焊焊接电流的新方法

## ——微型机在电阻焊过程控制上的应用

姜以宏副教授 王春青助教

(哈尔滨工业大学)

### 摘要

本文研究了一种采用微型计算机控制电阻点焊过程的新型控制装置。采用这种装置可以获得精确可靠的、各种波形的焊接电流，以适应各种材料的、不同厚度的电阻点焊。焊接电流可以在每个周波内任意调节，为实现电阻点焊质量监控创造了条件。

### 一、序言

许多金属板材用电阻点焊焊接时，往往需要采用多脉冲或一定波形的焊接电流，才能取得较好的效果，例如：

- (1) 淬硬倾向大的中碳钢和低合金钢，需焊后热处理。
- (2) 大厚度低碳钢板，需采用多脉冲电流。
- (3) 凸焊时，为防止飞溅，可选缓升电流波形。
- (4) 铝合金焊接时，用缓升预热电流，焊后再有一个缓降段，可保证核心凝固时有良好的变形条件。
- (5) 耐热钢采用多脉冲点焊，可有效地利用电极压力等等。

这些电流形式可称为调制电流。

此外，要检测某一反映熔核质量的参数，并根据偏差随时修正时，需在通电阶段的任一周波随意改变焊接电流。这种形式的焊接电流称为可控电流。

目前，常用的点焊控制装置，如KD5、KD6、KD7及KD7改型等都不具备调制电流和可控电流的功能。要实现某种波形电流输出，需增加辅助电路，这是很不方便的，而且能实现的波形也很有限。对于可控电流，现有的控制装置更难实现。

本文研究的由微型单板计算机为主组成的电阻点焊控制装置解决了以上问题。该装置具有调节方便、调节精度高的特点。它采用相位控制电流的原理，通过改变双反并联可控硅的接入相位角实现电流控制和获得各种波形的电流。

接入相位角（触发角）的分辨能力为  $0.144^\circ$ ，占  $50\text{Hz}$  交流电半周期的  $0.08\%$ 。电流波形由程序设定。通过改变程序参数改变电流波形。

## 二、电流调节原理

图 1、图 2 分别为焊机的电气原理图和等效电路图。

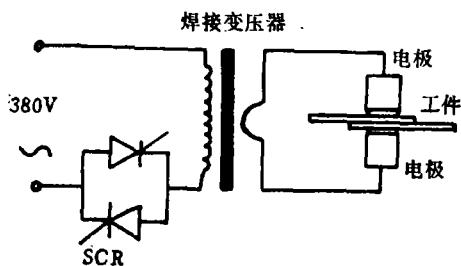


图 1 焊机电原理图

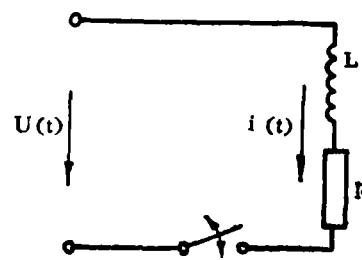


图 2 等效电路图

$L$  为回路等效电感， $R$  为等效电阻。设接入相位角为  $\phi_{\text{on}}$ ，则输入电压  $u(t)$  可写为：

$$u(t) = V_m \sin(\omega t + \phi_{\text{on}})$$

式中  $V_m$ ——电压峰值

设可控硅导通前电感中无电流，即：

$$i(0_-) = 0$$

可控硅接通后，存在下列关系式：

$$\begin{cases} R i + L \frac{di}{dt} = V_m (\sin \omega t + \phi_{\text{on}}) \\ i(0_+) = i(0_-) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

由此解得：

$$i(t) = \frac{V_m}{Z} [\sin(\omega t + \phi_{\text{on}} - \varphi) - \sin(\phi_{\text{on}} - \varphi) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}] \quad (2)$$

式中

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{\omega L}{R}$$

$$\tau = \frac{L}{R}$$

为计算方便和节省存储容量，将电流  $i(t)$  归一化，令：

$$A(t) = \frac{i(t)}{I_m} = \sin(\omega t + \phi_{\text{in}} - \varphi) - \sin(\phi_{\text{in}} - \varphi) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (3)$$

$I_m = \frac{V_m}{Z}$  是当  $\phi_{\text{in}} = \varphi$  时, 稳态电流的峰值。

由于可控硅开关在每个周波内都要经过一次接通、关断的过程, 因此, 由式 (3) 可以认为, 当  $\varphi$  为定值时, 归一化电流的峰值  $A_m$  只是  $\phi_{\text{in}}$  的函数:

$$A_m = f(\phi_{\text{in}}) \quad (4)$$

图 3 是在本试验所用的焊机参数时得到的计算结果。

可以看到, 改变每周波的接入相位角, 可以改变电流的峰值和有效值。

将  $A_m - \phi_{\text{in}}$  曲线离散化后存入微型机内存。对于给定的焊接件, 从工艺要求出发, 给出电流波形, 即给出每周波中电流的峰值  $i_m(k)$ 。微型机按下式换算成归一化电流峰值  $A_m(k)$ :

$$A_m(k) = \frac{i_m(k)}{I_m} \quad (k = 1, 2, 3, \dots, T_n)$$

$T_n$  为焊接通电周波数,  $I_m$  由试验测得。

微型机再由已存入的  $A_m - \phi_{\text{in}}$  曲线查得对应于  $A_m(k)$  的  $\phi_{\text{in}}(k)$ 。对于采样点间的值用直线上插法求得。

在焊接过程的通电阶段, 微型计算机在每次电网电压过零时将相应的  $\phi_{\text{in}}(k)$  值送入定时器, 启动定时器开始计时。到达触发时刻, 发出触发脉冲, 使可控硅开关导通, 输出相应大小的电流。当  $k = T_n$  后, 便完成了调制电流的过程。

对于不同厚度, 不同材料的焊件, 阻值不同, 从而焊机的回路阻抗角  $\varphi$  也不同, 需分别测取。图 3 是在 DN1-2-50 点焊机上, 对 (2+2)mm 20 号低碳钢板测得的  $\varphi$  角下所得到的计算结果。

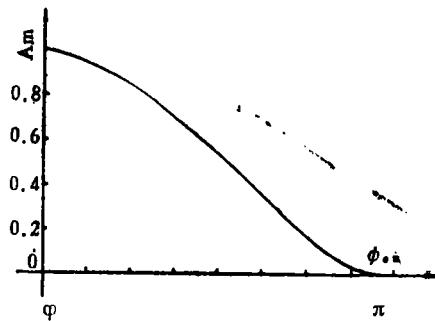


图 3  $A_m$  与  $\phi_{\text{in}}$  的关系

### 三、控制装置结构

控制装置见图 4。

同步电路给出电网电压过零信号, 作为触发角的定时起点。触发、加压电路在微型机的控制下完成焊接过程中电极的压下、抬起、通电的任务。双反并联可控硅作为电流开关, 启动  $\square$  路使程序进入焊接过程。

单板微型机型号为 TP801, 机上装有并行接口电路 PIO 一片, 定时/计数器 CTC 一片。本装置将 PIO 的 B 口设置为位控方式, 联接单板机与外电路, 以中断方式监视同步信号。设置 CTC 的通道 0、通道 1 和通道 3 为定时器工作方式, 通道 0 与通道 1 串联构成触发角定时器。通道 3 用做  $T/2$  (交流电半周期) 延时器。

下面对触发角的定时做较详细的说明。

CTC通道1的ZC/TO端接到通道0的CLK/TRG端。由程序设定通道1工作于自动启动，定标系数为16的定时方式。通道0工作于外触发启动，定标系数为256的定时方式。禁止通道1请求中断，通道0允许中断。通道3工作于自动启动，定标系数为256的定时方式，允许中断。

在微型机的内存中，触发角所对应的数值是一个三位的十六进制数，记为 $0a_2a_1a_0H$ 。

在同步脉冲信号的前沿来到时，将 $a_2a_1a_0H$ 送入通道1，将 $0a_2H$ 变为 $a_20H$ 送入通道0。通道1在送入时间常数 $a_1a_0H$ 后便开始计时，当达到 $a_1a_0H$ 所对应的时间时，其ZC/TO端（接到通道0的CLK/TRG端）发出一个正脉冲，其上升沿启动通道0开始计时。达到 $a_20H$ 所对应的时间时，通道0的中断服务程序发出一个触发脉冲，并同时启动通道3，计时 $T/2$ 时间时，发出另一半周的触发脉冲。

由于通道0的定标系数是256，通道1为16，即分别对单板机系统时钟256分频及16分频，因此总的触发角计时时钟数N为：

$$\begin{aligned} N &= a_2 \times 16^1 \times 256 + 0 \times 16^0 \times 256 + a_1 \\ &\quad \times 16^1 \times 16 + a_0 \times 16^0 \times 16 \\ &= 16 \times (a_2 \times 16^2 + a_1 \times 16^1 + a_0 \times 16^0) \\ &= 16 \times (a_2a_1a_0H) \quad (\text{个时钟脉冲}) \end{aligned}$$

系统时钟为2MHz，则定时时间为：

$$T_s = 8 \times a_2a_1a_0H \quad (\mu\text{s})$$

图5为基本的定时波形图。

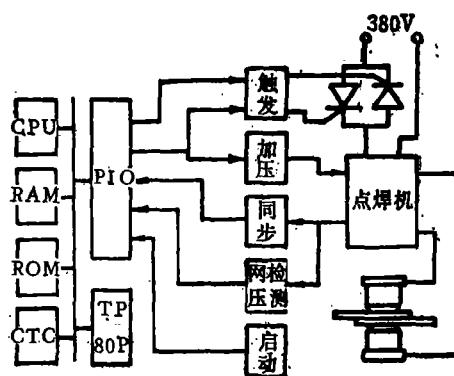


图4 控制装置结构框图

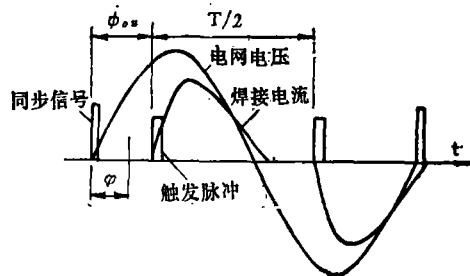


图5 触发角定时图

#### 四、焊接程序

焊接程序见图6。

程序由主程序、中断服务子程序、数学运算子程序及数据处理子程序构成。

主程序的任务是：（1）初始化：设置PIO、CTC的工作方式及中断方式，由给定的电流峰值确定触发角，建立所需要的指针。（2）完成预加压、通电、维持和休止四个阶段之间的转换。（3）必要时，在焊接结束后打印出有关的参数。

在焊接过程的通电阶段，通电周波数由主程序决定，而触发角的定时由三个中断服务子程序完成。

同步信号通过PIO的B口产生中断请求，中断服务子程序1，启动触发角定时器。该定时器定时到达给定的时刻时产生中断请求，中断服务子程序2发出前半周的触发脉

冲，并启动T/2延时器。经过T/2时间后又产生一个中断请求，中断服务子程序3发出另一半周的触发脉冲。然后，主程序判断周波计数器的值是否到零，若未到零，将周波计数器的值减1后重复上述过程；若到零，则通电阶段结束，进入维持阶段。

## 五、试验结果

图7（图版21、22）为在该控制装置上实际焊接试验时的几种焊接电流波形。照片是在SBR-1型示波器上用照相机摄得。示波器的触发时刻也由该装置控制。

图7a是具有缓升段的预热式调幅电流波形，上升段的斜率、周波数可分别进行调节。

图7b是具有缓降段的回火式调幅电流波形，下降速度、周波数可分别进行调节。

图7c是同时具有缓升、等幅和缓降段的焊接电流波形。

图7d是回火式二次脉冲电流波形。

图7e是预热式二次脉冲电流波形，脉冲幅值、间歇周波数和通电周波数都很容易调节。

图7f是预热、回火式三次脉冲电流波形。

图7g是无间歇时间的预热、回火式三次脉冲电流波形。

图7h是连续回火式三次脉冲电流波形。

特别指出的是，实现以上各种波形的焊接电流，控制装置的硬件部分不需做任何改动，而程序也只需稍加改动。

## 六、结 论

1. 本控制装置能实现各种波形焊接电流的输出，并具有电流调节分辨能力高、波形参数调节方便、输出稳定的特点。
2. 由于采用了微型机控制，可以在每个周波上任意改变焊接电流，即实现可控电流输出，为实现电阻点焊质量监控完成了关键的一步。

（1984年6月6日收到）

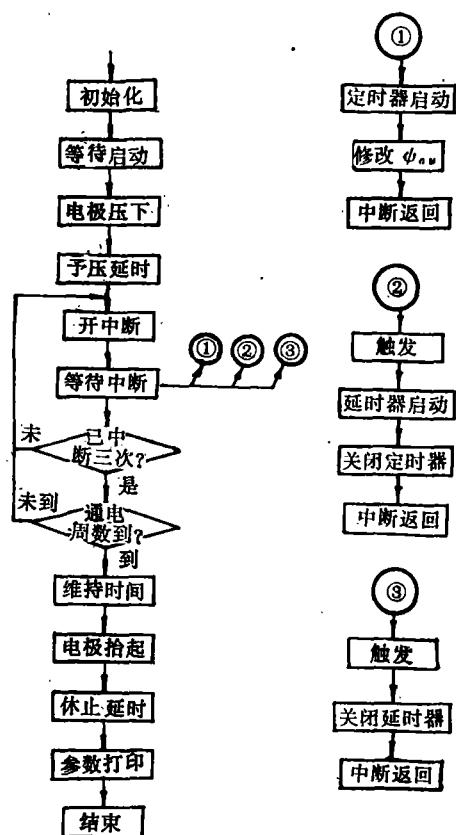


图6 焊接程序流程图

## A NEW METHOD FOR OBTAINING THE SPOT WELDING CURRENTS OF VARIOUS WAVEFORMS

—Application of Microcomputer to Resistance Welding Process Control

*Associate professor Jiang Yihong, Assistant Wang Chunqing*

*(Harbin Institute of Technology)*

### Abstract

A new type of microcomputer unit has been developed for controlling resistance spot welding process. By means of this unit, accurate and stable currents of different waveforms can be obtained for the spot welding of various materials and thicknesses. Furthermore, the current can be arbitrarily adjusted during each cycle for in-process quality monitoring.

国际焊接学术会议动态

### 1985年国际焊接年会将于9月1日~6日 在法国斯特拉斯堡举行

International Institute of Welding  
FRENCH ORGANISING COMMITTEE  
ANNUAL ASSEMBLY 1985

The 38th Annual Assembly of the International Institute of Welding (IIW) will be held at the Palais de la Musique et des Congrès of STRASBOURG, France from 1 to 6 September 1985

The program will consist of two different parts:  
 -An International Conference on Automation and Robotization in Welding and Allied processes, to be held on 2 and 3 September  
 -The traditional meetings of the administrative and technical units of the IIW, on 1 and from 3 to 6 September.