

# 磁驱动旋转电弧对焊的研究

黄贤聪工程师

许瑞麟工程师

(成都电焊机研究所)

## 摘要

本文对无气体保护磁驱动电弧对焊设备的电源部分、磁驱动部分、控制部分以及焊接参数监测等关键技术进行了研究。文中还对无气体保护磁驱动旋转电弧对焊过程和焊接参数对焊接质量的影响进行了分析，并推导出工件端部温度场计算公式和最佳焊接规范计算法。这些分析计算具有很大的实用价值。在这些研究的基础上，研制出一台无气体保护磁驱动旋转电弧对焊机，该机具有生产效率高、节能、焊接质量良好等特点。它适合于在大规模生产线上应用。

## 一、序言

随着工业的发展，大规模生产线要求焊接质量高、速度快和消耗低。磁驱动电弧对焊(以下简称磁弧对焊)的焊件不合格率可小于千分之一<sup>[1]</sup>，功率消耗是电阻对焊焊接同种工件的5%~10%，焊接时间仅是10%~20%，加之材料消耗少和维修方便<sup>[2]</sup>，所以，磁弧对焊在大规模生产线上的应用前景广阔。

通常磁弧对焊是在保护气体中进行。获得两段电流的方法是在焊接回路中串接电阻。本文介绍的磁弧对焊不用气体保护，用改变可控硅电源的工作状态获得两段电流。这就简化了焊接工艺，进一步节约了电能。

本文还对新设计的可分式磁头、焊接过程参数监测作了论述。对焊接过程进行的分析计算对推导焊接热影响区的大小和选择最佳焊接规范具有实用意义。

## 二、可控硅式磁弧对焊电源

在空气中的磁弧对焊，要求电源有下降的外特性和两段以上的电流程序，如图1所示。

由于第二段电流的存在使焊接表面的氧化物夹渣消失，这有助于提高接头的机械性能。试验表明，第二段电流持续时间大于0.1s，数值是第一段电流的三倍，此时能获得优质接头。

通常获得第二段电流的方法是在焊接回路中串接约 $0.1\Omega$ 的电阻。需要二次电流时，可用可控硅短路这个电阻<sup>[2,3]</sup>，如图2所示。这种方法在第一段电流期电阻上消耗能量，如果第一段电流为630A，电阻上消耗的功率为39.69kW，约为加热工件的电弧功率的1.4倍。焊接时间大部分是第一段电流时间，可见此法不经济。

本研究采用可控硅式电源，如图3所示。主电路为带平衡电抗器双反星形电路，它与同步电路、电流负反馈电路、触发电路组成具有下降外特性的弧焊电源，通过控制电路与两段电流给定和控制箱连接，在各段电流时刻控制电路根据由电位器 $W_1$ 和 $W_2$ 的选定值送出控制电平，以获得所需的两段电流。

众所周知，上述主电路的惯性环节主要是可控硅六分之一周的换流区间和滤波电感。只要外特性要求不太陡降和合理设计滤波电感，电源是容易控制的，并能满足磁弧对焊电流转换上升率的要求。该电源第一段电流调节范围是120~630A，由电位器 $W_1$ 任选，第二段是360~1800A，由 $W_2$ 任选，两段电流时间由整机程序控制。电流转换上升率实测大于100kA/s。

电源设计有强电流驱动电路，当弧压偶然下降到10V以下时，电路发出驱动信号，相当于瞬时增大给定值，使焊接电流瞬时增大为额定值的1.5~2倍，这就避免了电弧短路影响电弧正常旋转。

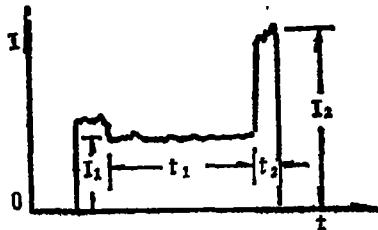


图1 磁弧对焊两段电流的波形

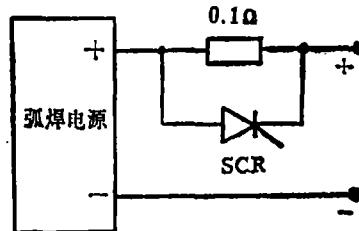


图2 串接电阻式电源

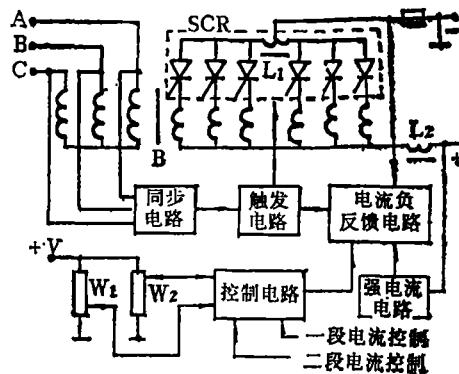


图3 可控硅式磁弧焊电源方框图

### 三、可分式磁驱动装置

研究表明，在电弧旋转区域中，当磁感应强度  $B$  大于  $0.1\text{ T}$  时，对于小于  $\phi 90\text{mm}$  的工件，电弧旋转速度可大于  $200\text{r/s}$ ，再增加磁场强度提高电弧转速对焊接质量无明显影响。

为了在电弧旋转区域获得磁感应强度  $B \geq 0.1\text{ T}$ ，通常将激磁线圈套在工件的端部<sup>[4]</sup>，这种方法虽然简单，但不适用于变截面工件、长工件和带法兰的工件，且工件装卸十分不便。为了满足高生产率的需要，新磁头设计成可分式、单磁极，激磁线圈由直流供电，磁极的 S 极朝向工件，如图 4 所示。与一般磁头不同，新磁头增加了“磁路罩”，使磁路由原来大部分通过空间变为大部分通过磁路罩导磁体，提高了激磁效率约一倍，并减小了磁头体积。

磁路计算中，在不使磁极和磁路罩饱和的情况下，忽略它们的磁阻，磁势降简化在气隙上，这样计算磁路是适用的。按此方法设计  $\phi 38$  至  $\phi 89\text{mm}$  的磁头，均能满足磁弧对焊工艺的要求。

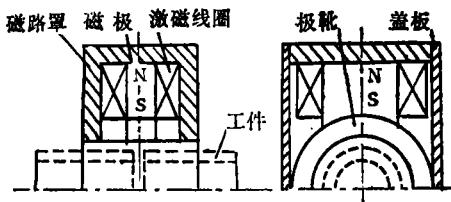


图 4 可分式单磁极磁头

### 四、自动控制和监测

图 5 是磁弧对焊机的控制和监测方框图。其控制过程是：夹紧工件，夹紧完成送信号给控制器，控制器指令进入下一个程序→自动起弧，判别电弧和焊接电流合乎要求，起弧完成→第一段电流稳定燃弧，控制器记录第一段电流时间→第二段电流电弧，控制器记录第二段电流时间→顶锻焊接，动夹具带动工件高速前进，工件接触，电流切断，保压→自动卸荷，夹具松开，动夹具退回原位，液压失压。电路的中心环节是程序控制器，它由计数器和触发器组成。开机后控制器使各部分处于卸载状态。夹紧完成信号出现后，程序控制器根据预选焊接参数控制各部分按程序自动进行，直至卸载。仅当按下“急停”按钮才能在任何时候中止程序进行，并立即转入卸载状态。本电路有以下特点：

1. 自动起弧。工件夹紧后，接通焊接电源和磁场电源，同时动夹具自动慢速前进，工件接触，焊接电流产生，动夹具自动后退。根据起弧方式预选。如果是“间隙控制”，则动夹具后退到预选间隙（一般为  $1.5\sim2\text{mm}$ ）自动停止。如果是“弧压控制”则

动夹具后退直到电弧电压符合预选要求才能停止。本电路控制弧压在25~35V之间任选。

2. 自动程序检测。开机后，闭合控制器上的“自检”开关，程序自动循环，程序过程指示灯显示运行情况。这有助于检查控制器工作是否正常，并判断故障所在。

3. 焊接参数自动监测。如图5所示，焊接电流和电弧电压经检测电路直接送“显示记录”，而非电量的压力、位移、电弧转速等参数通过适当的传感器和检测电路变为电量送入“显示记录”。控制器在接受夹紧完成信号后即发出信号使“显示记录”工作，自动记录电弧电压、焊接电流、顶锻力，电弧转速、工件位移（折算为顶锻速度）等焊接参数。

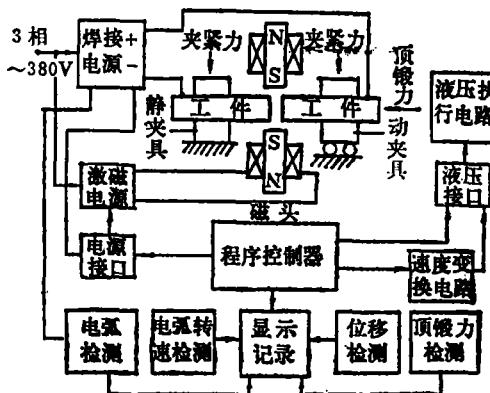


图5 磁弧对焊机的控制和监测方框图

## 五、磁驱动电弧对焊过程分析

无保护气体磁驱动电弧对焊过程分为引弧、旋弧、顶锻三个阶段。影响焊接加热和热场分布的过程主要是旋弧阶段。

旋弧初期，工件温度较低，电弧斑点移动困难，电弧旋转速度慢而不稳定。当电弧旋转速度达到200r/s时，进入旋弧中期，电弧稳定，转速快。工件端面温度提高，形成一层薄而均匀的熔化金属，加热均匀。在旋弧末期，端面金属熔化达到可焊接状态，此时施以第二段电流，加速烧化，加速电弧旋转，同时进行顶锻，以得到无氧化物夹渣的优质接头。

若视高速旋转的电弧为连续作用的平面热源<sup>[5]</sup>，用它加热管形工件，根据雷卡林的热过程计算方法，推导出离管端距离为y的温度T为：

$$T(y, t) = \frac{qy}{2\lambda\sqrt{\pi}} \left\{ \frac{2\sqrt{at}}{y} \exp\left(-\frac{y^2}{4at}\right) - \sqrt{\pi} \left[ 1 - \phi\left(\frac{y}{\sqrt{4at}}\right) \right] \right\}$$

式中 q——电弧输入热量                   $\lambda$ ——导热系数  
 y——测量点离端面距离                  a——导温系数

$$\phi\left(\frac{y}{\sqrt{4at}}\right) \text{——高斯或然率函数}$$

试验表明，当  $y=0.1\text{cm}$ ,  $T=1200^\circ\text{C}$  或  $y=0.4\text{cm}$ ,  $T=900^\circ\text{C}$  时为理想的焊件温度场。按此条件，用  $T(y,t)$  式可计算优质接头的热输入量  $q$  及旋弧加热时间  $t$ 。用  $T(y,t)$  式还可推算出接头的热影响区和最佳焊接规范。

## 六、试验结果

在上述研究的基础上，研制成功了 JX-12.5型磁驱动旋转电弧对焊机，适用于  $\phi 38\sim90\text{mm}$ 、截面为  $225\sim1350\text{mm}^2$  的各种管件对焊。

为了研究焊接参数对接头质量的影响，进行了大量的焊接试验和检验，合理的确定了磁弧对焊参数的允许变化范围。表 1 是通过试验验证的一组焊接规范及其允许变化范围。表 2 为一组试件的机械性能试验结果。试验是按《锅炉受压元件焊接接头机械性能检验方法》的规程进行，经检查全部合格。

表 1 20号钢管旋弧对焊规范及允许变化范围

规 格	I <sub>1</sub>		t <sub>1</sub>		I <sub>2</sub>	t <sub>2</sub>	P <sub>s</sub>		U		△	
	正 常 值 (A)	变 化 范 围 (%)	正 常 值 (s)	变 化 范 围 (%)	(A)	(s)	正 常 值 (N/mm <sup>2</sup> )	变 化 范 围 (%)	正 常 值 (V)	变 化 范 围 (%)	正 常 值 (mm)	变 化 范 围
φ50×4	390	±10	6	±10	1200	0.1~0.2	68.65	±14	26	±10	2.0	±0.3

表 2 20号钢管旋弧对焊接头机械性能

试 验 号	压扁 试 验	拉伸试验		弯曲试验		宏观金相试验	
		抗拉强度 (N/mm <sup>2</sup> )	断裂处	正 90° 弯	反 90° 弯	亮带区宽度 (mm)	缺陷情况
1	无裂	432.47	母材	无裂	无裂	0.05	无
2	无裂	437.38	母材	无裂	无裂	0.08	无
3	无裂	443.26	母材	无裂	无裂	0.05	无

## 七、结 论

- 无保护气体磁弧对焊是一种高效、节能、低成本的焊接技术，适合于大规模生产线的应用。

2. 采用可控硅式磁弧对焊电源，既能满足磁弧对焊的要求，又进一步节约了能耗。
3. 可分式磁头结构新颖，激磁效率高，体积小，工件装卸方便。
4. 焊机自动控制性能好，监测焊接过程参数可作为评定焊接质量的依据。
5. 磁驱动电弧对焊的过程分析和热计算可作为磁弧焊规范选择的参考。

(1985年4月23日收到修改稿)

参加本项研究工作的还有陈图仪、王素芳、于成哉、莫春海、齐秀英等同志。长春第三机床厂承担了焊机主机和液压设备的加工，在此表示感谢！

### 参 考 文 献

- [1] Hagan D., Riley N.: «Metal Construction», 11(1979), №.12, P629.
- [2] Franz-josef Ganowski: «Welding and Metal Fabrication» (1974) ,№6, P209.
- [3] Johnson KI. et al.: «Metal Construction», 11(1979), №11, P592.
- [4] Johnson K.I. et al.: «Welding Journal», (1979) , №5, P20.
- [5] 雷卡林著：《焊接热过程计算》，机械工业出版社，（1956）。

## A STUDY OF MAGNETICALLY IMPELLED ARC BUTT WELDING

*Engineer Huang Xiancong, Engineer Xu Ruilin  
(Chengdu Electric Welding Machine Research Institute)*

### Abstract

In this article the authors investigated some technical problems of unshielded magnetically impelled arc butt welding machine, such as power source, magnetic impelling unit, program control unit and welding parameter monitoring device. After analysing the unshielded MIAB welding process and the effect of welding parameters on welding quality, the authors established the formula for calculating the temperature field of abutting ends of workpieces and also the formula for setting optimum welding condition. An unshielded MIAB welding machine has been preproduced, featuring high efficiency, energy saving, and excellent quality of welded joints. It is best for production line application.