

# 热丝填充埋弧焊原理及应用

李 桓 张宝红 孙国夫 奚道岩

(天 津 大 学)

**摘要** 热丝填充埋弧焊是在传统埋弧焊的基础上发展起来的一种优质、高效、节能的焊接新工艺。本文建立了热丝加热状态的数学模型,在此基础上研制了相应的装备,在生产中应用该工艺可获得良好的经济效益和社会效益。

**关键词:** 热丝 埋弧焊 装备 工艺

## 0 序 言

热丝填充埋弧焊是在普通的埋弧焊基础上,附加一套送丝机构,将另外一根焊丝由预热电源加热至接近熔化状态后均匀地送入埋弧自动焊所形成的熔池内(图 1),此焊丝称为热丝。这是一种可以提高焊接时填充金属熔化量进而提高焊接效率及劳动生产率的好方法。特别适宜于焊接厚度在 20mm 以上开坡口的工件,是一种简单、方便而可行的新工艺。

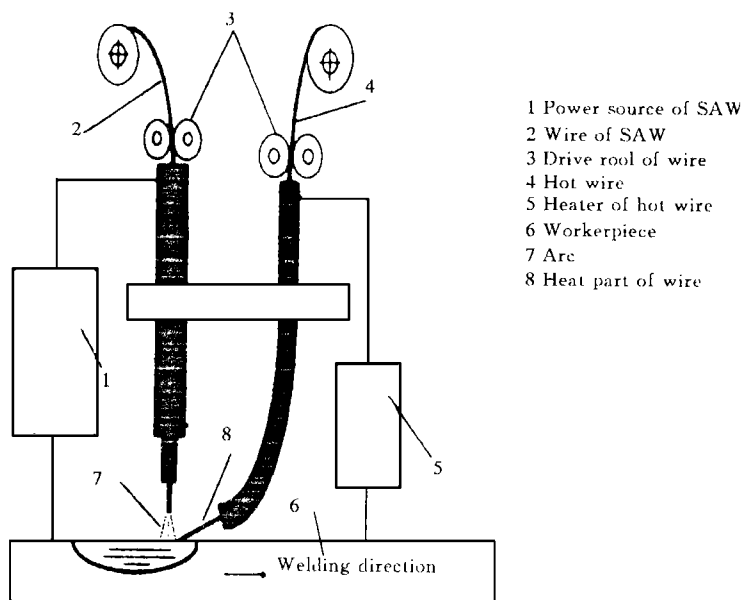


图 1 热丝填充埋弧焊工作原理图

Fig. 1 Schematic diagram of SAW with hot wire addition

## 1 热丝加热状态数学模型的建立

如图 2 所示,热丝以速度  $V$  经导电嘴送出,同时通以电流  $I$ ,该丝的半径为  $R$ 。设该丝只有伸

出导电嘴的部分才被加热,取热丝在导电嘴出口处的时刻为  $t_0=0$ , 任意时刻为  $t$ , 在伸出部分任取一小段  $\Delta L$  由  $0 \rightarrow t$  运动,  $\Delta L$  段热丝经电阻热  $Q_1$  加热  $t$  时间, 其温度由室温  $T_0$  升至  $T$  需热量  $Q_2$ , 散失的热量为  $Q_3$ 。

$$Q_1 = \int_0^t I^2 \rho(t) \Delta L / S dt = \int_0^t I^2 \rho(t) \Delta L / \pi R^2 dt \quad (1)$$

$$Q_2 = C \Delta L S \gamma (T - T_0) = C \Delta L \pi R^2 \gamma (T - T_0) \quad (2)$$

$$Q_3 = \int_0^t \beta 2\pi R \Delta L (T - T_0) dt \quad (3)$$

式中:  $\rho(t)$  为电阻率,  $C$  为比热,  $\gamma$  为密度,  $\beta$  为散热系数,  $T$  为任意时刻温度,  $T_0$  为室温。

$$\text{并有 } Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (4)$$

将(1)、(2)、(3)式代入式(4)并化简,得

图 2 热丝加热状态的数学模型

Fig. 2 Mathematical modeling of hot wire heated

$$I^2 \rho(t) / \pi R^2 = C \pi R^2 \gamma T' + \beta 2\pi R T - \beta 2\pi R T_0 \quad (5)$$

$$\text{设 } A = C \pi R^2 \gamma \quad B = 2\pi R \beta \quad D = -(2\pi R \beta T_0 + I^2 \rho(t) / \pi R^2)$$

$$\text{则有} \quad A T' + B T + D = 0 \quad (6)$$

解此方程可得

$$T(t) = E e^{-Bt/A} - D/B \quad (7)$$

$$t=0 \text{ 时 } T_0=293\text{K} \quad E = D/B + 293$$

$$T(t) = (D/B + 293) e^{-Bt/A} - D/B \quad (8)$$

$$\text{取 } A = 1.647 \times 10^{16} R^2$$

$$B = 1.82 \times 10^3$$

$$D = -5.335 \times 10^5 - 1.53 \times 10^{-7} I^2 / R^2$$

$$\text{令 } \rho(t) = 4.82 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}, \quad T = 1623\text{K}, \quad t = L/V$$

$$\text{则有} \quad 8.5 \times 10^{-11} I^2 / R^3 (1 - e^{-6.6 \times 10^{-3} L/V R}) - 1330 = 0$$

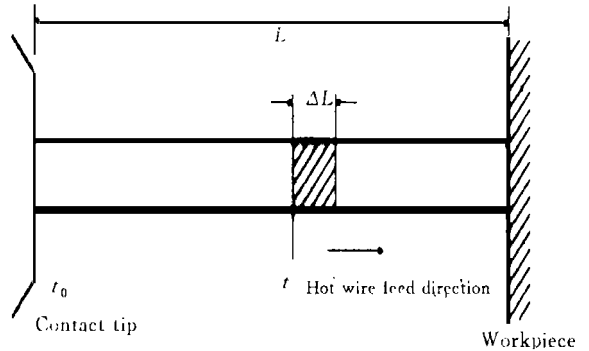
$$\text{即:} \quad I = f(R, L, V) \quad (9)$$

在方程(9)中有 4 个未知数, 它们是热丝半径  $R$ , 干伸长  $L$ , 送丝速度  $V$  及加热电流  $I$ , 在实际应用中,  $R$ 、 $L$ 、 $V$  是可以预置的量, 即可以做为预置参数, 只要把这三个参数代入方程(9)中, 就可以方便地求出不同的  $R$ 、 $L$ 、 $V$  情况下相应的加热电流。

## 2 决定加热电流的主要因素

### 2.1 热丝半径 $R$ 的影响

热丝半径  $R$  对加热电流的影响最大,  $R$  增加时, 单位长度的电阻值减小, 为使热丝得到充分的加热, 必须提高加热电流。从焦耳—楞次定律可知, 当电流一定时, 电阻发热量与电阻成正比, 而电阻与导电面积成反比, 即电阻发热量与导电面积成反比, 与半径的平方成反比, 所以半径  $R$  的变化必将引起电流值的较大变化。例如:  $V=13\text{m/min}$ ,  $L=40\text{mm}$  时,  $R$  从  $0.6\text{mm}$  变为  $0.8\text{mm}$  时, 加



热电流由 319A 增加到 565A。

## 2.2 干伸长 $L$ 的影响

当  $R$ 、 $V$  一定时,  $L$  增大、 $I$  则减少, 这主要是因为  $L$  增大后, 加热时间增加的原因,  $L$  对电流的影响随热丝半径  $R$  的增加而增大, 干伸长变化时,  $R$  越大, 其电流变化的幅度越大。如当  $V=13\text{m/min}$  时, 对于  $R=0.6\text{mm}$  的热丝,  $L$  由  $40\text{mm}$  变化到  $50\text{mm}$  时电流从  $319\text{A}$  下降到  $285\text{A}$ , 变化量为  $34\text{A}$ 。当  $R=0.8\text{mm}$  时, 电流从  $883\text{A}$  下降到  $791\text{A}$ , 变化量为  $92\text{A}$ , 尽管如此, 电流的相对变化却几乎相等, 前者为  $10.65\%$ , 后者为  $10.42\%$ 。

## 2.3 送丝速度 $V$ 的影响

当  $R$ 、 $L$  一定时, 随送丝速度  $V$  的增加亦即热丝进入熔池的时间变短, 此时应增加加热电流, 这样才能保证热丝加热充分。计算结果表明: 随  $V$  的增加, 电流的改变量变小, 例如  $R=0.8\text{mm}$ ,  $L=40\text{mm}$ , 当  $V$  从  $7\text{m/min}$  增加到  $8\text{m/min}$  时, 电流值由  $417\text{A}$  增加到  $445\text{A}$ ,  $\Delta I=28\text{A}$ 。当  $V$  从  $14\text{m/min}$  增加到  $15\text{m/min}$  时, 电流值由  $587\text{A}$  增加到  $607\text{A}$ ,  $\Delta I=20\text{A}$ 。

经实验证实, 加热电流的理论计算与实测值比较, 误差在  $10\%$  以内, 这说明热丝加热状态方程的推导是正确的。

# 3 热丝加热电源的研制

根据上述理论分析, 可采用电阻焊变压器的设计原理来设计热丝加热电源, 应选水平或缓降外特性。采用交流电源的目的是尽可能减小热丝加热电流所产生的磁场对电弧的磁偏吹作用, 同时应适当加大空载电压的调节范围。具体参数是次级线圈为 10 匝, 初级由六个线圈组成, 其中两个为 25 匝, 两个为 50 匝, 两个为 100 匝, 当相同匝数的两个初级线圈选用不同的串、并联接线方式时, 次级空载电压可有 8 个级别。当热丝加热电源的初级接  $380\text{V}$  时, 次级空载电压最小值为  $10.86\text{V}$ , 最大值为  $21.72\text{V}$ 。使用  $R=0.8\text{mm}$  的结构钢焊丝时, 热丝加热电源可输出  $300\sim 500\text{A}$  的电流, 满足了对热丝加热的需要。热丝加热电源的空载电压不能取得过高, 否则热丝与工件接触处会引燃电弧, 这将破坏稳定的热丝加热过程。

# 4 控制系统的研制

根据实际使用的要求, 其控制部分的设计原则应该是:

(1) 为方便使用和面对我国国情, 热丝填充部分应能方便地附加于埋弧焊机之上。埋弧焊机以我国广泛使用的  $\text{MZ}-1000$  型、 $\text{MZ}-1-1000$  型及  $\text{MZ1}-1000$  型为对象。

(2) 热丝填充装置附于埋弧焊机上之后, 对原埋弧焊机的使用不要产生过大的影响, 要求高一点, 应该能使有热丝和无热丝这两种工作状态方便地转换, 当不使用热丝填充埋弧焊工艺时, 原操作方法及功能不变。

(3) 改装时, 对原埋弧焊机的改动应尽量少。

(4) 能使热丝的加热规范调节方便, 填入量均匀可调。

(5) 埋弧自动焊引弧并形成稳定的焊接过程后再将热丝送入熔池。

(6) 停止焊接时, 埋弧焊焊丝及填充热丝均要先停止送进, 经过一段延时后, 再熄弧, 即要求有焊丝返烧熄弧功能。

(7)焊前调整要方便,且热丝加热规范要由显示仪表显示。

热丝送丝部分可选用市售的 CO<sub>2</sub> 半自动焊机送丝机构。值得注意的是这种送丝机构有两大类:其一是将送丝机构的机械部分和电控部分做成一体式,如新乡电气控制设备厂生产的 S86A 型送丝机构;其二是将机械部分和电控部分分开,电控部分的安装位置在原焊机内,目前所见的送丝机构大都是这种形式。显然如采用一体式的结构来送热丝,其控制部分就很简单。如采用后者,则稍麻烦些,需要对送丝机控制电路作适当改变。

## 5 实用效果

研制的热丝填充埋弧焊设备可与 MZ—1000、MZ—1—1000 及 MZ1—1000 型埋弧焊机配套使用,埋弧焊工一周内可熟练掌握。该工艺在原料油缓冲罐( $\Phi 3000\text{mm} \times 17800\text{mm} \times 16\text{mm}$  材料 20g)的焊接生产中得到了应用,主焊丝材料为 H08A,直径为 4mm,焊接电流为 650~700A;热丝材料为 H08MnA,直径为 1.6mm,加热电流为 400~450A;焊接速度 25.2m/h,增加熔敷速度为 61.5%,焊接电压 36~38V,产品开 Y 形坡口,钝边 7mm,在内侧坡口内先焊一道,外侧气刨清根后再焊一道,焊缝经 100%X 射线探伤为 I 级片,产品经水压试验及劳动局检验合格,取得了良好的经济效益和社会效益。

## 6 结 论

(1)所研制的热丝填充埋弧焊设备能与目前广泛使用的、三种不同型号的国产埋弧焊机配套,适合我国国情。

(2)建立并求解了热丝加热状态方程,经计算得出的加热电流与实测电流的误差在 10%之内。

(3)使用热丝填充埋弧焊工艺,可使熔敷速度增加 50%~100%,并可获得质量优良的焊接接头。

(1997—04—22 收到初稿,1997—12—12 收到修改稿)

### 参 考 文 献

- 1 蔡国余. 电焊机变压器设计. 天津:天津大学出版社,1988.
- 2 奚道岩等. 焊丝预热器. 中国实用新型专利, 92201857. X.
- 3 冯标等. 热丝填充埋弧焊最佳工艺参数确定. 焊接, 1994(7): 9~12

## Principle and Application of Submerged Arc Welding with Hot Wire Addition

*Li huan, Zhang Baohong, Sun Guofu, Xi Daoyan*

*(Tianjin University)*

**Abstract** The submerged arc welding with hot wire addition is a new welding process with high quality, high efficiency and low energy consumption. In this paper, mathematical modeling for heating condition hot wire of has been set up. From that, relevant apparatus has been made up. Using the process in practice, the notable economic and social benefit can be obtained.

**Key words** SAW process, hot wire, equipment, technology