

# 电磁力及其对 MIG 焊接熔池流场的影响\*

孙俊生<sup>†</sup> 武传松

(山东大学材料学院, 济南 250061)

(2000 年 7 月 17 日收到, 2000 年 8 月 16 日收到修改稿)

MIG 焊接熔池具有不规则的表面边界, 温度较高且分布极不均匀, 在电磁力、浮力、表面张力等的作用下发生剧烈运动. 基于熔池表面变形较大时电弧电流密度的双峰分布模型, 建立了电磁力的计算模型. 采用数值模拟技术研究了熔池中的流体力学行为, 揭示了焊接工艺参数对熔池流场的影响规律. 实验表明, 计算与实测结果符合良好.

关键词: 电磁力, 熔池流场, 数值模拟

PACC: 5280, 4110F

## 1 引 言

熔化极惰性气体保护电弧焊(MIG)的焊接熔池由于温度分布极不均匀引起液态金属密度的变化产生浮力, 使液态金属流动, 表面张力梯度及表面张力则使液态金属产生对流(也称 Marangoni 对流); 在电弧焊中, 焊接电流从电极斑点进入熔池后, 由于电流密度分布的不均匀产生电磁力, 引起熔池内部液态金属的流动. 熔池中的液态金属在上述各种力的作用下激烈运动着, 它极大地影响着熔池的传热、传质以及熔池内部一系列物理化学反应, 是影响焊缝成形和焊接接头质量的重要因素. 因此, 准确定量地分析焊接熔池的流场具有重要的理论意义和实际意义. 由于熔池尺寸较小、温度极高、电弧光强烈干扰, 目前采用实验方法研究熔池的流体行为还存在较大困难, 用计算机进行数值模拟是一种有效的手段. 恰当、合乎实际地描述熔池流动的驱动力是对熔池中流体流动状态准确模拟的前提, 根据本文作者建立的 MIG 焊接电弧热流在熔池表面以及熔滴热焓量在熔池内部的分布模型<sup>[1, 2]</sup>, 精确计算了熔池的温度场, 为表面张力、表面张力梯度、浮力的精度计算奠定了基础. 而对电磁力的计算, 各国学者均采用了基于 Gaussian 分布的电流密度分布模型, 对于熔池表面变形较小的 TIC(钨极惰性气体保护焊)焊

接来说, 这样处理基本上是合理的. 但在 MIG 焊接中, 由于熔滴冲击力的作用和电弧压力的大幅度提高, 使熔池表面产生了严重的变形, 电弧正下方有较大的下凹变形, 而电弧后方熔池表面隆起, 熔池表面变为复杂形状的曲面, 电流非常明显地受到熔池表面形状的限制, 使其分布模式不再符合 Gaussian 分布, 再采用 Gaussian 分布的电流密度计算电磁力就不尽合理. 本文根据作者建立的熔池表面变形情况下电流密度分布模型, 确定了电磁力的计算方法, 并综合考虑熔池表面变形、电流密度分布、电磁力和熔池温度场、流场的动态耦合作用, 定量分析焊接工艺参数对熔池流场的影响规律.

## 2 数值分析模型的建立

如图 1 所示, 在 MIG 焊接过程中, 焊接电弧以恒定速度  $u_0$  沿  $x$  方向运动. 由于浮力、电磁力和表面张力梯度的作用, 熔池中的液态金属激烈运动着. 焊丝以一定速度  $S_m$  熔化形成过热的熔滴冲击熔池, 使熔池产生了较大的表面变形, 并使熔池凝固后形成焊缝余高. 在动坐标系下, 描述准稳态熔池温度场和流场的能量方程、动量方程(Navier-Stokes 方程)和连续性方程为

$$E_x + F_y + G_z = S, \quad (1)$$

式中  $E_x, F_y, G_z$  分别表示  $E, F, G$  对角标变量  $x,$

\*教育部优秀年轻教师基金、高等学校重点实验室访问学者基金资助的课题.

<sup>†</sup>E-mail: Junssun@jn-public.sd.cninfo.net

$y, z$  的偏导数  $E, F, G, S$  则由下式给出.

$$E = \left\{ \begin{array}{l} \rho u \\ \rho(u - u_0)u - \mu u_x \\ \rho(u - u_0)v - \mu v_x \\ \rho(u - u_0)w - \mu w_x \\ \rho c_p (T - T_0) - K(T)T_x \end{array} \right\},$$

$$F = \left\{ \begin{array}{l} \rho v \\ \rho v u - \mu u_y \\ \rho v v - \mu v_y \\ \rho v w - \mu w_y \\ \rho c_p (T) v T - K(T)T_y \end{array} \right\},$$

$$G = \left\{ \begin{array}{l} \rho w \\ \rho w u - \mu u_z \\ \rho w v - \mu v_z \\ \rho w w - \mu w_z \\ \rho c_p (T) w T - K(T)T_z \end{array} \right\}, S = \left\{ \begin{array}{l} 0 \\ -P_x + X \\ -P_y + Y \\ -P_z + Z \\ h_w \end{array} \right\},$$

其中,带角标  $x, y, z$  的变量表示该变量对  $x, y, z$  的一阶偏导数; $T$  为温度; $u, v, w$  分别为熔池流体在  $x, y, z$  方向的速度分量; $P$  为压力; $\rho$  为密度; $\mu$

为动力黏度系数; $c_p$  为容积比热; $K(T)$  为导热系数; $h_w$  为能量方程的内部热源项,它反映了 MIG 焊接熔滴传输给焊接熔池的热量,其大小和分布区域的计算方法见文献[1]. $X, Y, Z$  为体积力,包括电磁力和浮力.

熔池表面变形的控制方程为<sup>[3]</sup>

$$P_a - \rho g \Phi + P_d + \lambda = -\gamma \frac{(1 + \Phi_y^2)\Phi_{xx} - 2\Phi_x\Phi_y\Phi_{xy} + (1 + \Phi_x^2)\Phi_{yy}}{(1 + \Phi_x^2 + \Phi_y^2)^{3/2}}, \quad (2)$$

式中, $P_a$  为电弧压力, $P_d$  为熔滴冲击力, $\rho, \gamma$  分别为液态金属的密度和表面张力, $g$  为重力加速度,角标  $x, y$  表示  $\Phi$  对  $x, y$  的偏导数, $\lambda$  为待定常数,其大小根据熔池体积的增加等于填充金属的体积这一约束条件确定.

单道焊时焊缝余高的横截面面积  $A$  根据焊丝直径  $d$ 、焊丝熔化速度  $S_m$  和焊接速度  $u_0$  由下式确定,

$$A = S_m \pi d^2 / 4 u_0, \quad (3)$$

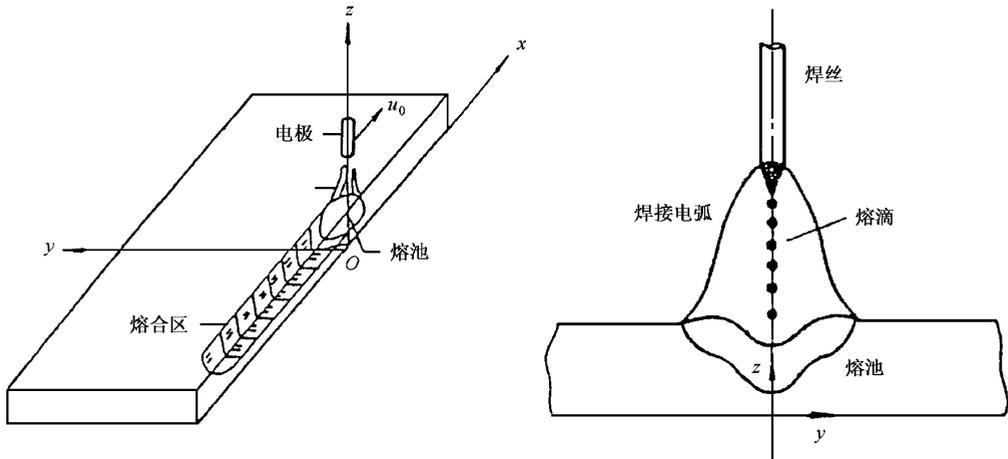


图 1 MIG 焊接过程示意图

其几何形状由熔池表面变形方程(2)求出的形状函数  $\Phi(x, y)$  确定.

能量方程的边界条件为

$$-K \nabla T \cdot \mathbf{n}_b = q_s, \quad (4)$$

式中,  $\mathbf{n}_b$  为工件上表面的单位法向矢量.在焊件上表面,  $q_s$  采用双峰分布的电弧热流密度分布模式<sup>[2]</sup>当  $y=0$  时,  $q_s=0$ ;在其他表面,  $q_s = \alpha(T - T_0)$ ,  $\alpha, T_0$  分别为换热系数和环境温度.

动量方程的边界条件(工件上表面)为

$$-\mu \frac{\partial u}{\partial z} \cdot \mathbf{n}_b = \frac{\partial \gamma}{\partial T} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \cdot \mathbf{t}_{bx} \right), \quad (5)$$

$$-\mu \frac{\partial v}{\partial z} \cdot \mathbf{n}_b = \frac{\partial \gamma}{\partial T} \left( \frac{\partial T}{\partial y} \cdot \mathbf{t}_{by} \right), \quad (6)$$

$$\omega \cdot \mathbf{n}_s = 0, \quad (7)$$

其中  $\mathbf{t}_{bx}, \mathbf{t}_{by}$  分别表示工件上表面沿  $x$  和  $y$  方向的切向单位矢量.

$$\text{当 } y=0 \text{ 时, } \frac{\partial u}{\partial y} = 0, \frac{\partial w}{\partial y} = 0, v=0. \quad (8)$$

在液固两相区和固体中( $T \leq T_L$ ):

$$u = -u_0, v = w = 0. \quad (9)$$

熔池表面变形方程(2)的边界条件为

$$\Phi(x, y) = 0, \quad T \leq T_L. \quad (10)$$

### 3 体积力的计算

在电弧压力和熔滴冲击力的作用下, MIG 焊接熔池表面产生了较大的变形, 电弧中心线附近下凹变形比较大, 而在熔池后部液态金属表面隆起, 熔池表面形状很不规则(见图 2), 从焊丝端部  $W$  到熔池表面各点的距离  $l$  有较大幅度的变化. 根据电弧物理中的最小电压原理, 弧柱中的电流将按最短路径流入熔池. 由于电弧正下方的熔池表面下凹变形较大, 此处的  $l$  值较大, 而离开电弧中心线一定距离处,  $l$  值反而较小. 因此, 熔池表面凹陷中心流过的电流较少, 更多的电流从离开电弧中心线一定距离的熔池表面流过. 根据上述电弧物理的基本原理, 可建立电弧电流密度在熔池表面上的分布模型<sup>[4]</sup>. 图 3 为电流密度在熔池表面分布的计算结果, 可见电弧电流密度在电弧中心线附近呈双峰分布, 且双峰向电弧后方偏移, 在离开电弧中心线的一定距离处变为单峰分布<sup>[4]</sup>.

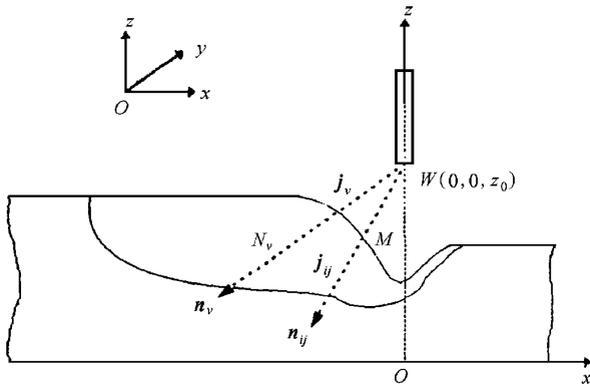
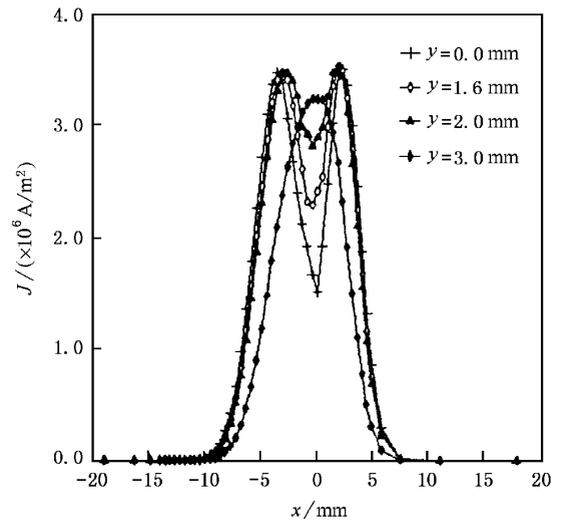


图 2 焊接熔池表面变形及其内部电流线的示意图

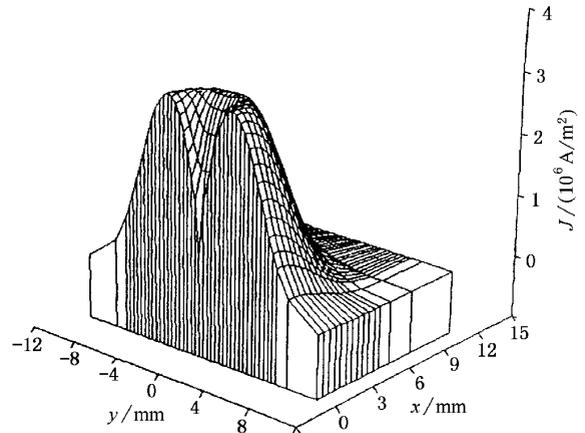
本文基于上述电流密度的双峰分布模型, 确定动量方程(1)中体积力项  $X, Y, Z$  的计算方法. 在熔池内部, 由于温度分布不均匀将产生浮力, 焊接电流通过熔池表面进入熔池后由于电流线的发散而产生电磁力. 所以熔池的体积力包括电磁力和浮力两项, 即

$$\mathbf{F} = (\mathbf{J} \times \mathbf{B}) - \rho g \beta \cdot \Delta T, \quad (11)$$

式中  $\mathbf{J}$  为电流密度,  $\mathbf{B}$  为磁感应强度,  $\beta$  为线膨胀系数,  $g$  为重力加速度,  $\Delta T$  为温度差. 由于作者提出的电流密度分布模型不能用一个简单的公式表



(a) 纵向分布



(b) 三维图

图 3 电流密度分布的计算结果

( $I = 240 \text{ A}, V = 25 \text{ V}, d = 1.2 \text{ mm}, W_c = 16 \text{ mm}, u_0 = 480 \text{ mm/min}$ )

示<sup>[4]</sup>, 所以只能采用数值计算方法确定每一个有限差分节点的体积力, 如图 2 所示, 假定  $N_v$  为需要确定电磁力的节点, 其坐标为  $N_v(x_v, y_v, z_v)$ . 流过该节点的电流密度为  $j_v$ .  $j_v$  可由电流密度分布模型计算出来<sup>[4]</sup>,  $W, N_v$  两点连线的矢量为  $\mathbf{n}_v = \{x_v, y_v, z_v - z_0\}$ .  $j_v$  在坐标轴上的分量可根据  $\mathbf{n}_v$  的方向余弦按下式计算:

$$\begin{aligned} j_{vx} &= j_v \cdot \frac{x_v}{\sqrt{x_v^2 + y_v^2 + (z_v - z_0)^2}}, \\ j_{vy} &= j_v \cdot \frac{y_v}{\sqrt{x_v^2 + y_v^2 + (z_v - z_0)^2}}, \\ j_{vz} &= j_v \cdot \frac{z_v}{\sqrt{x_v^2 + y_v^2 + (z_v - z_0)^2}}. \end{aligned} \quad (12)$$

设  $M(x_i, y_j, H - \Phi(x_i, y_j))$  为熔池表面上的任意一节点 ( $H$  为试件厚度), 流过该节点的电流密度设为  $j_{ij}, j_{ij}$  同样可由电流密度的分布模型确定<sup>[4]</sup>.  $W$  与  $M$  连线的矢量为  $n_{ij} = \{x_i, y_j, H - \Phi(x_i, y_j) - z_0\}$  在  $M$  点取一微元  $dS_{ij}$ , 则  $j_{ij} \cdot dS_{ij}$  为流过该微元的电流大小, 下面确定电流  $j_{ij} \cdot dS_{ij}$  在  $N_v$  点产生的磁感应强度.

$N_v$  到  $WM$  线的距离为<sup>[5]</sup>

$$a_{ij} = \frac{|n_v \times n_{ij}|}{|n_{ij}|}, \quad (13)$$

则电流  $j_{ij} \cdot dS_{ij}$  在  $N_v$  点产生的磁感应强度的大小  $B_{ij}$  为

$$B_{ij} = \frac{\mu_0 j_{ij} \cdot dS_{ij}}{2\pi a_{ij}}, \quad (14)$$

方向与以下矢量相同,

$$-n_v \times n_{ij} = - \begin{vmatrix} i & j & k \\ x_v & y_v & z_v - z_0 \\ x_i & y_j & H - \Phi(x_i, y_j) - z_0 \end{vmatrix} \\ = A_x i + A_y j + A_z k, \quad (15)$$

$$\text{其中 } A_x = - \begin{vmatrix} y_v & z_v - z_0 \\ y_j & H - \Phi(x_i, y_j) - z_0 \end{vmatrix},$$

$$A_y = \begin{vmatrix} x_v & z_v - z_0 \\ x_i & H - \Phi(x_i, y_j) - z_0 \end{vmatrix},$$

$$A_z = - \begin{vmatrix} x_v & y_v \\ x_i & y_j \end{vmatrix}.$$

根据矢量  $-n_v \times n_{ij}$  的方向余弦, 可将电流  $j_{ij} \cdot dS_{ij}$  在  $N_v$  点产生的磁感应强度在  $x, y, z$  三个方向的分量  $B_{ij}^x, B_{ij}^y, B_{ij}^z$  分别表示为

$$B_{ij}^x = B_{ij} \cdot \frac{A_x}{\sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}} \\ = \frac{\mu_0 j_{ij} \cdot dS_{ij}}{2\pi a_{ij}} \cdot \frac{A_x}{\sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}}, \\ B_{ij}^y = B_{ij} \cdot \frac{A_y}{\sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}} \\ = \frac{\mu_0 j_{ij} \cdot dS_{ij}}{2\pi a_{ij}} \cdot \frac{A_y}{\sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}}, \\ B_{ij}^z = B_{ij} \cdot \frac{A_z}{\sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}} \\ = \frac{\mu_0 j_{ij} \cdot dS_{ij}}{2\pi a_{ij}} \cdot \frac{A_z}{\sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}}. \quad (16)$$

根据安培定律<sup>[6]</sup>, 由(12)和(16)式可得出电流  $j_{ij} \cdot dS_{ij}$  在  $N_v$  点产生的磁感应强度所引起的体积电磁

力在  $x, y, z$  轴上的分量分别为

$$\begin{aligned} x \text{ 方向: } & j_{vy} B_{ij}^z - j_{vz} B_{ij}^y, \\ y \text{ 方向: } & -j_{vx} B_{ij}^z + j_{vz} B_{ij}^x, \\ z \text{ 方向: } & j_{vx} B_{ij}^y - j_{vy} B_{ij}^x. \end{aligned} \quad (17)$$

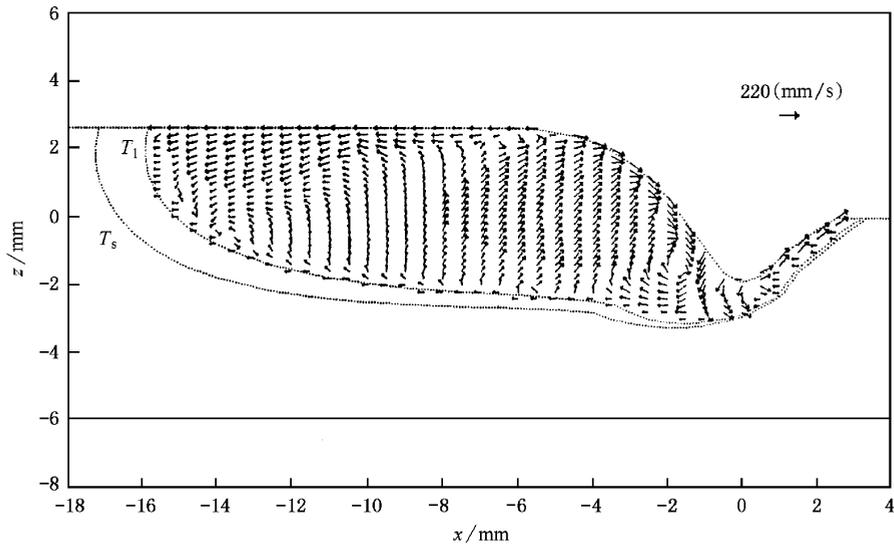
对熔池表面上所有节点经过上述计算并求和, 同时考虑浮力, 可确定出  $N_v$  点的体积力, 即

$$\begin{aligned} X &= \sum_{i,j} (j_{vy} B_{ij}^z - j_{vz} B_{ij}^y), \\ Y &= \sum_{i,j} (-j_{vx} B_{ij}^z + j_{vz} B_{ij}^x), \\ Z &= \sum_{i,j} (j_{vx} B_{ij}^y - j_{vy} B_{ij}^x) - \rho g \beta \cdot \Delta T. \end{aligned} \quad (18)$$

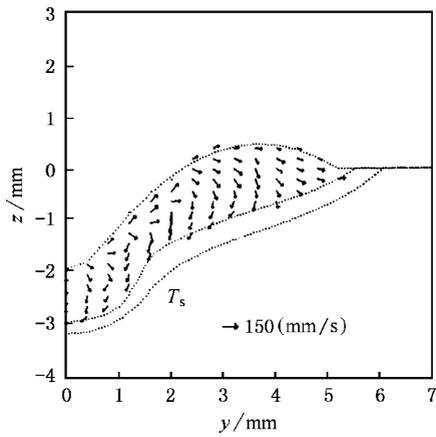
## 4 计算结果与讨论

采用差分法和非正交贴体曲线坐标系相结合的方法, 克服了复杂熔池表面形状的描述困难. 为了提高计算精度, 采用了间距变化的非均匀网格, 靠近热源作用的区域, 由于温度梯度较大, 采用细网格, 而远离热源的区域采用粗网格, 应用中心差分公式对控制方程及其边界条件进行离散化. 对尺寸为  $150 \text{ mm} \times 80 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$  低碳钢 Q195 试件 MIG 焊接熔池的流场和温度场以及熔池的几何形状进行了计算机模拟. 材料的热物理性能参数与文献 [1, 2] 相同.

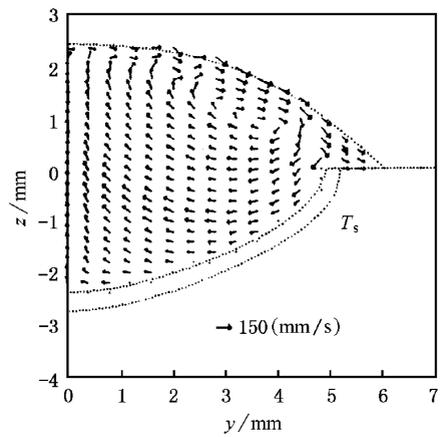
MIG 焊接过程中, 焊接电流较大时, 焊丝熔化形成的熔滴以较小的直径、较高的速度沿焊丝轴线喷射到熔池, 而焊接电流较小时, 熔滴则以较大的滴状、较低的速度过渡到熔池. 图 4 是熔滴射流过渡时焊接熔池流场的计算结果, 可以看出, 在焊接熔池中两个环流, 一个在熔池的中部, 另一个在熔池的尾部. 在电弧中心线附近, 液态金属流向熔池根部. 熔池中部环流的形成主要与电磁力、熔滴冲击力的作用有关. 在电弧中心线  $z$  轴附近, 电磁力、熔滴冲击力的作用方向向下, 推动着高温的液态金属流向熔池底部, 将作用于熔池表面的电弧热以及熔滴热焓带入熔池根部, 从而有利于增加熔深, 保证焊透. 熔池尾部的环流主要是由于熔池表面张力梯度引起的, 由于表面张力温度系数通常为负值, 所以越靠近电弧中心线的区域, 液体金属温度越高, 表面张力越低, 而在熔池的边界附近, 熔池液态金属的温度较低, 表面张力较高, 因此熔池表面的液态金属就由靠近电弧中心线的区域向熔池边界流动. 熔池纵截面流体流速沿  $x$  方向的分布曲线示于图 5, 图 5(a) 为流体流速分量的计算结果, 图 5(b) 则表示与上述熔



(a)  $y=0$  mm 纵向截面



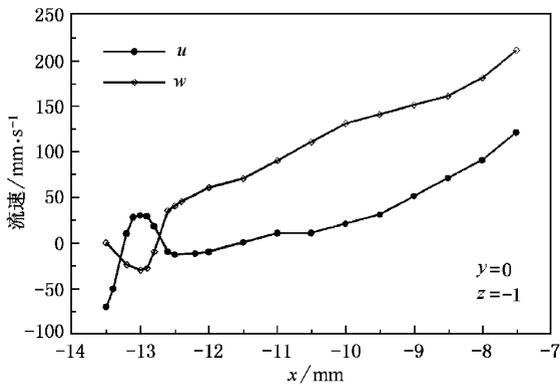
(b)  $x=0$  mm 横向截面



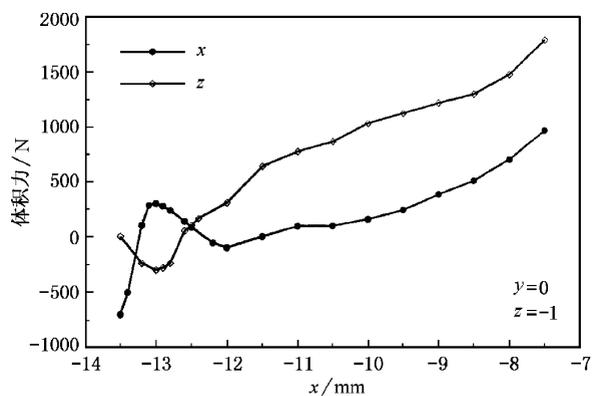
(c)  $x=-5$  mm 横向截面

图 4 焊接熔池内流场的计算结果

( $H=6$  mm,  $I=240$  A,  $V=25$  V,  $u_0=430$  mm/min,  $d=1.2$  mm,  $W_e=16$  mm)



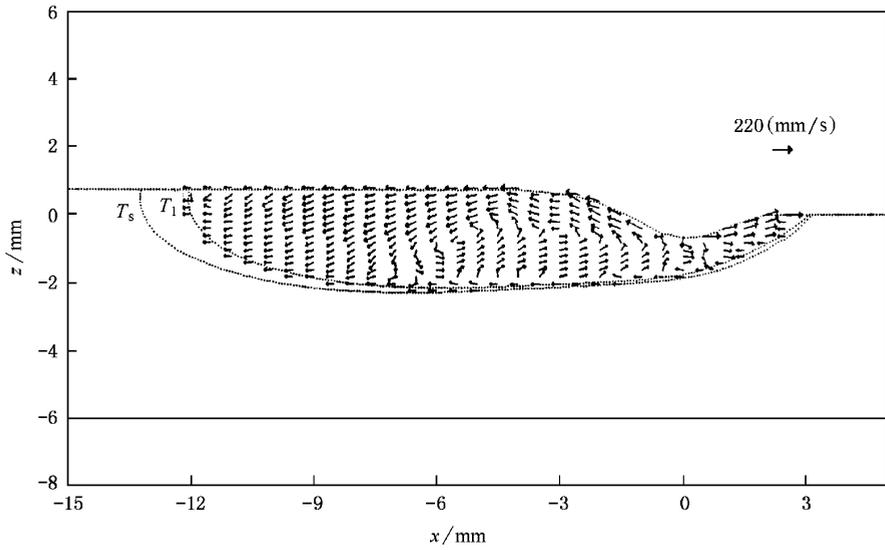
(a) 流速分量的分布曲线



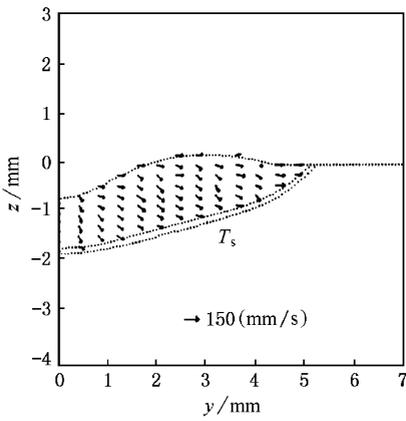
(b) 熔池内部体积力的计算结果

图 5 熔池流体流速和体积力的计算结果

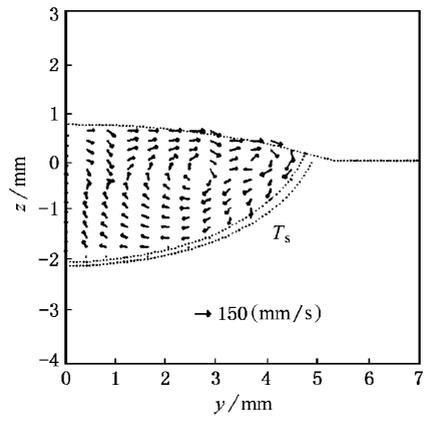
( $I=240$  A,  $V=25$  V,  $d=1.2$  mm,  $W_e=16$  mm,  $u_0=480$  mm/min)



(a)  $y = 0$  mm 纵向截面



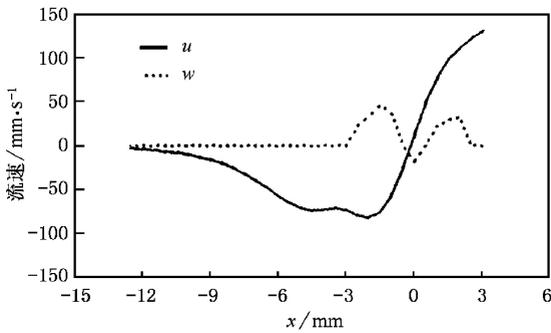
(b)  $x = 0$  mm 横向截面



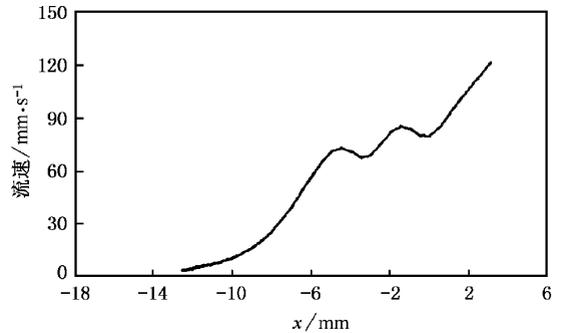
(c)  $x = -5$  mm 横向截面

图 6 焊接熔池内流场的计算结果

( $I = 150$  A,  $V = 25$  V,  $d = 1.2$  mm,  $W_e = 16$  mm,  $u_0 = 480$  mm/min)



(a) 流速分量的分布曲线



(b) 流体流速的分布曲线

图 7 熔池上表面流体流速的分布曲线( $y = 0$  mm)

( $I = 150$  A,  $V = 25$  V,  $d = 1.2$  mm,  $W_e = 16$  mm,  $u_0 = 480$  mm/min)

池内部流体流速相对应之体积力的计算结果,可以看出体积力分量的方向与流体流速分量的方向基本一致,从而证明,体积力是熔池内部流体流动的主要驱动力。

图 6 表示滴状过渡时焊接熔池流场的计算结果,可以看出,熔池的流场只有一个环流,此环流的流向不是把电弧热带到熔池底部,而是带到熔池尾部,显然这不利于增大熔深,可能导致焊不透。图 7 表示熔池纵截面流体流速沿  $x$  方向分布的计算曲线 (a) (b) 分别表示流体流速分量和流体流速。从射流过渡和滴状过渡熔池流场的计算结果可以看出,两者的流场明显不同,焊接厚大焊件时,为了获得较大的熔深,保证焊透,选用的焊接电流应超过临界电流,使熔滴射流过渡,而焊接薄件时,则宜选用小的焊接电流,使熔滴以滴状过渡,这样熔深较小,不至于焊穿。

焊接电流对熔池中最大流体流速的影响示于图 8,可见随着焊接电流的增大,熔池中的流体流速也逐渐增大。

目前熔池流场的试验验证尚有许多实验技术方面的困难,但是熔池的流场影响其温度场,温度场的验证实际上也间接验证了熔池流场的数值计算结果。本文进行了 MIG 焊接工艺实验,试件背面焊缝中心线上温度分布的计算和实测结果以及实验条件如图 9 所示,可见计算结果与实测结果吻合良好。

## 5 结 论

1. 根据作者提出的电弧电流密度在熔池表面上的双峰分布模式,建立了驱动熔池流体流动的体积力计算模型。

2. 综合考虑熔池表面变形、电流密度分布、电磁力和熔池温度场、流场的动态耦合作用,定量分析了焊接工艺参数对熔池流场的影响规律。计算结果表明,射流过渡时熔池中存在两个环流,而滴状过渡时仅有一个环流,焊接电流越大,熔池中的流体流速越大,体积力是熔池内部流体流动的主要驱动力。

3. 熔池流场的计算结果表明,熔滴射流过渡易形成较大的熔深,而滴状过渡形成的熔深较小。焊接厚大焊件应选用较大的电流,使熔滴射流过渡,以保证焊透,而薄件的焊接宜采用较小的电流,使熔滴滴状过渡,以避免焊穿焊件。

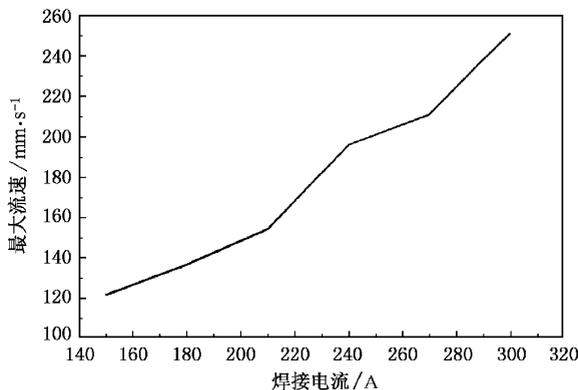


图 8 焊接电流对熔池中最大流速的影响  
( $V = 25 \text{ V}$ ,  $d = 1.2 \text{ mm}$ ,  $W_e = 16 \text{ mm}$ ,  $u_0 = 480 \text{ mm/min}$ )

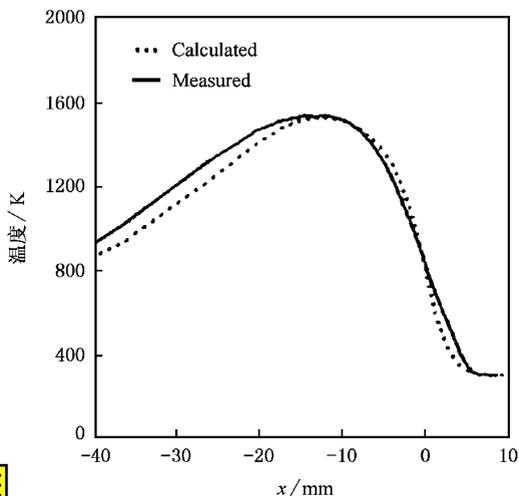


图 9 试件背面焊缝中心线上温度分布的计算和实测结果  
( $I = 240 \text{ A}$ ,  $V = 25 \text{ V}$ ,  $u_0 = 480 \text{ mm/min}$ ,  $d = 1.2 \text{ mm}$ )



4. MIG 焊接工艺实验结果表明,焊件温度分布的计算值和实测值吻合良好,间接验证了本文焊接熔池流场计算结果的可靠性。

[1] C. S. Wu, J. S. Sun, *Proc. Instn. Mech. Engre., Part B: Journal of Engineering Manufacture* **212B** (1998) 525.

[2] C. S. Wu, J. S. Sun, *Computational Materials Science*, **9**

(1998) 397.

[3] C. S. Wu, L. Dorn, *Acta Metallurgica Sinica*, **33** (1997) 774  
(in Chinese) [武传松, L. Dorn, *金属学报*, **33** (1997) 774].

- [ 4 ] J. S. Sun ,C. S. Wu ,*Acta Physica Sinica* ,49( 12 )( 2000 ) ,2427  
( in Chinese ) 孙俊生、武传松 ,*物理学报* ,49( 12 )( 2000 ) ,  
2427 ]
- [ 5 ] D. J. Guo ,*Mathematical Manual for College*( Shandong Press of  
Science Jinan ,1985 ) ,85 - 95( in Chinese ) 郭大钧 ,*大学数学*  
手册( 山东科学出版社 济南 ,1985 ) ,85 - 95 ]
- [ 6 ] Sh. S. Zhou ,*Basal Tutorial of Electromagnetic Field*( Higher Edu-  
cation Press ,Beijing ,1985 ) ,104 - 146( in Chinese ) 周省三 ,*电*  
*磁场基本教程*( 高等教育出版社 北京 ,1985 ) ,104 - 146 ]

## THE ELECTROMAGNETIC FORCE AND ITS INFLUENCE ON THE WELDPool FLUID FLOW IN MIG WELDING \*

SUN JUN-SHENG WU CHUAN-SONG

( *College of Materials Engineering ,Shandong University Jinan 250061 ,China* )

( Received 17 July 2000 ; revised manuscript received 16 August 2000 )

### ABSTRACT

The surface border of weldpool in MIG welding is irregular and the temperature in the pool is very high and is distributed extremely nonuniformly. The violent motion occur under the action of the electromagnetic force ,the buoyancy force and the surface tension etc. According to the bimodal distribution mode for arc current density with a large deformation of the pool surface ,the calculation mode for electromagnetic force is developed and described in this paper. Numerical analysis is used to study the hydrodynamics behavior in the weldpool and the effects of welding technical parameters on fluid flow. The experiments show that the predicted results are in good agreement with experimental measurements.

**Keywords :** electromagnetism force , fluid flow , numerical analysis

**PACC :** 5280 , 4110F

\* Project supported by the Excellent Young Scholars' Foundation of the Ministry of Education of China.