

(南昌航空大学,江西 南昌 330063)

[摘要] 外加纵向磁场可以改变电弧加热有效半径进而影响焊接温度场分布。为了得到外加纵向磁场作用 TIG 焊的电弧加热有效半径,采用拍摄 TIG 焊水冷铜阳极板时电弧外观形态照片并对比照片的方法,测得外加纵向磁场对电弧加热有效半径的影响系数。通过数值模拟分析外加磁场 TIG 焊温度场的分布,模拟结果与实际相符。

[中图分类号] TG40 [文献标识码] A [文章编号] 1001-4926(2008)04-0023-05

DAI Wei, JIANG Shu- yuan, ZHANG Xue- wu

(Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China)

Abstract: Welding temperature distribution was effected by the effective heated radius of the arc regulated by different external longitudinal magnetic intensity. In order to obtain effective heated radius of the arc of TIG welding under external longitudinal magnetic field, influence coefficient of arc was measured by comparison with different arc shape of TIG welding created on the water-cooled copper anode plate. Temperature distribution of TIG welding with numerical simulation was consistent with experimental result.

了可靠的技术方法^[2],也为电磁作用焊接温度场的数值模拟提供了一个广阔的平台。

在 TIG 焊温度场数值模拟时,很多研究者基于高斯分布的热源模型,得到了比较理想的模拟结果^[9]。然而,在电磁作用下的 TIG 焊接过程中,电弧中带电粒子受到电磁力的作用后做螺旋式高速旋转运动,向电弧边缘区域汇集。同时,由于气体内部的粘滞

[收稿日期]2008-09-18

[修回日期]2008-10-28

[基金项目] 江西省自然科学基金资助项目 (0150040)

[作者简介] 代巍(1981-),男,硕士研究生。研究方向:弧焊焊接工艺、焊接数值模拟。

力,带电粒子带动邻近的中性粒子旋转,促使它们也向电弧边缘区域汇集,使得电弧加热有效半径变大,因此,按照高斯分布热源模型选取的电弧加热有效半径,就不能很好反映电弧受到磁场作用而扩张的特性,本文在这个方面进行了初步的探索,采用一个改进的高斯热源模型来解决外加磁场作用 TIG 焊温度场数值模拟的需要。

1 计算模型

1.1 物理模型的建立

图 1 是运动电弧作用下的 TIG 焊过程示意图。工件处于水平位置,焊枪沿 X 轴方向匀速运动,与工件表面垂直。为简化计算,将坐标系固定在工件上,且模型具有对称性,所以只需对一半工件进行数值模拟。

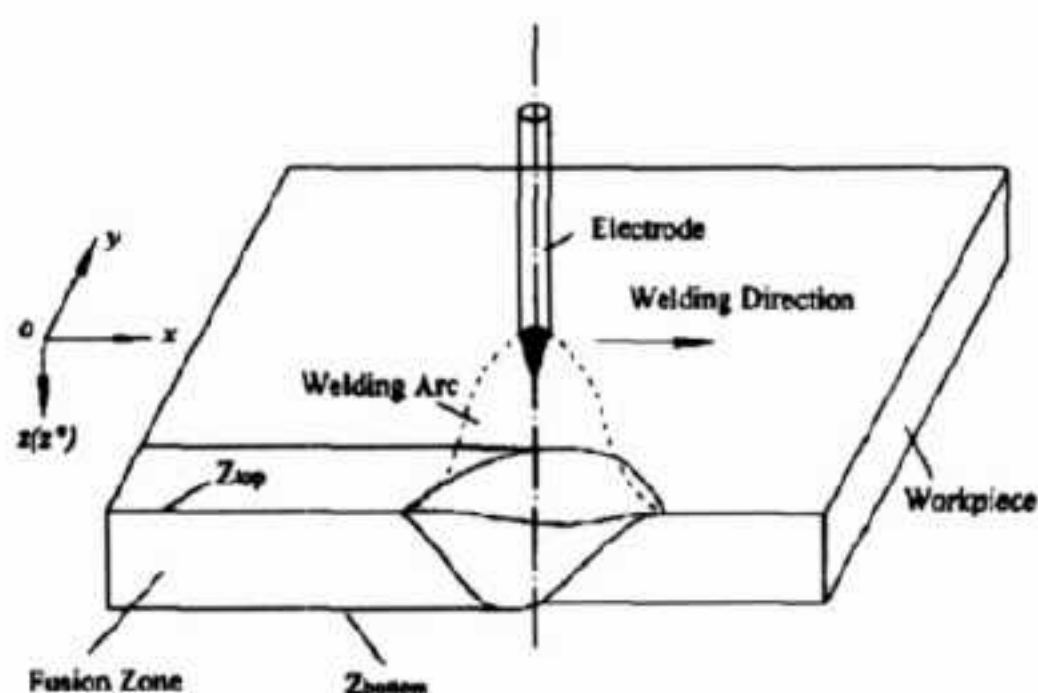


图 1 直角坐标系下的 TIG 焊接过程示意图

1.2 外加纵向磁场热源模型的建立

TIG 焊温度场的数值模拟中,一般采用的热源模型为高斯分布热源模型,这种热源模型较适用于表面热源对电弧挺度较小、对熔池冲击力较小的焊接方法,其表达式为^[4]:

$$q(r) = \frac{3}{\pi R^2} \eta UI \exp\left(-\frac{3r^2}{R^2}\right) \quad (1)$$

式中:U 为电弧电压,I 为焊接电流, η 为焊接电弧功率有效利用系数,R 为电弧加热有效半径,r 为某点的径向距离。

有磁场作用时,电弧中带电粒子受到电磁力

的作用后做螺旋式高速旋转运动向电弧边缘区域汇集,同时,随着带电粒子的旋转,由于气体内部的粘滞力,将带动邻近的中性粒子旋转,促使它们也向电弧边缘区域汇集,因此,在进行数值模拟过程中,将这一特征可以看做是热源的电弧加热有效半径 R 增大。对于 R 值扩大的倍率,可以通过对拍摄水冷铜阳极板时电弧外观形态照片进行对比后得到。

焊接电流 60A,钨极与水冷铜阳极距离为 1mm,钨极直径 1.2mm,气体流量 6L/min,在不同外加磁场作用下,利用数码相机拍摄 TIG 焊电弧的外观形态照片。焊接电流 60A 时的电弧形态如图 2 所示。

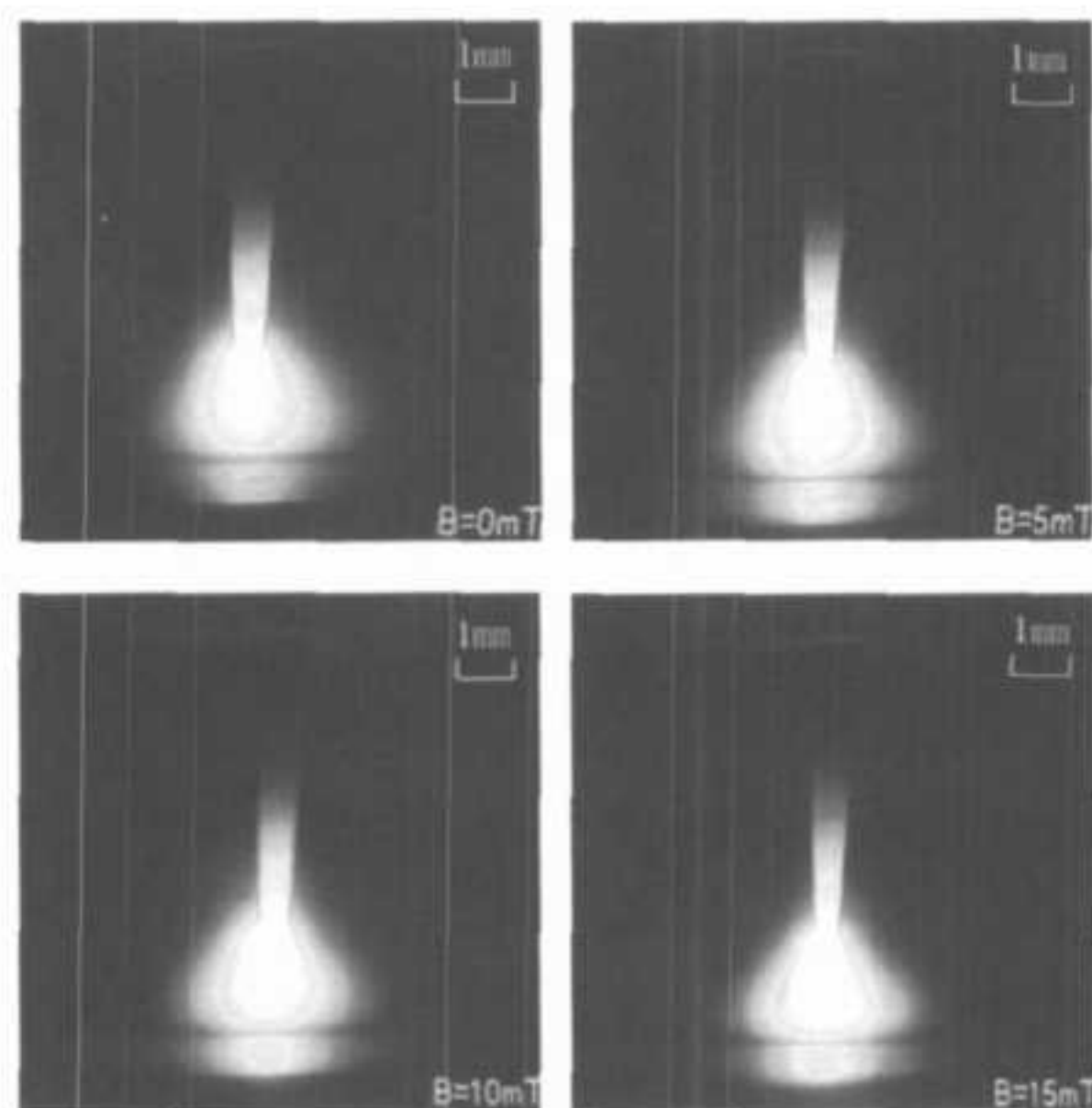


图 2 $I=60A$ 下,不同磁场强度时的电弧形貌

电弧的实际尺寸在图 2 中测量得到,如表 1 所示。

表 1 不同磁感应强度时的电弧实际尺寸

磁场强度 (mT)	0	5	10	15
电弧尺寸 (mm)	5.49	5.71	6.02	6.61

从表 1 可以看出,当外加磁场 $B=5\text{ mT}$ 、 10 mT 、 15 mT ,对比 $B=0$ 时电弧的扩张倍数,即外加纵向磁场对电弧影响系数,分别为:1.05 倍、1.10 倍、1.2 倍,

通过这种实验方法可以得到不同焊接规范下外加纵向磁场对电弧影响系数 k 的大小。

将外加磁场对电弧分布的影响简化为其对电弧加热有效半径的影响,为此,公式(1)可以改进为:

$$q(r) = \frac{3}{\pi (kR)^2} \eta UI \exp\left(-\frac{3r^2}{(kR)^2}\right) \quad (3)$$

其中, k 为外加纵向磁场对电弧影响系数。

1.3 有限元模型

焊接模拟计算时,采用不填充焊丝平铺焊;工件材料为低碳钢 Q235;工件尺寸为 $150\text{mm} \times 70\text{mm} \times 3\text{mm}$;焊接电流 $I=60\text{A}$;焊接速度 3mm/s ;TIG 焊接功率有效利用系数 $=72\%^{[5]}$;电弧加热有效半径 $R=5\text{mm}^{[6]}$;外加磁场($B=15\text{mT}$ 时)作用下电弧加热有效半径 $R_1=6\text{mm}$ (为 R 的 1.2 倍)。利用有限元分析软件进行计算求解。

网格模型如图 3 所示。采用过渡网格划分进行划分,两端用 solid70 单元,中间用 solid87 单元过渡,在焊缝处用映射网格划分,单元网格为 1mm;在工件最外层的单元网格为 3mm;中间用自由网格过渡。

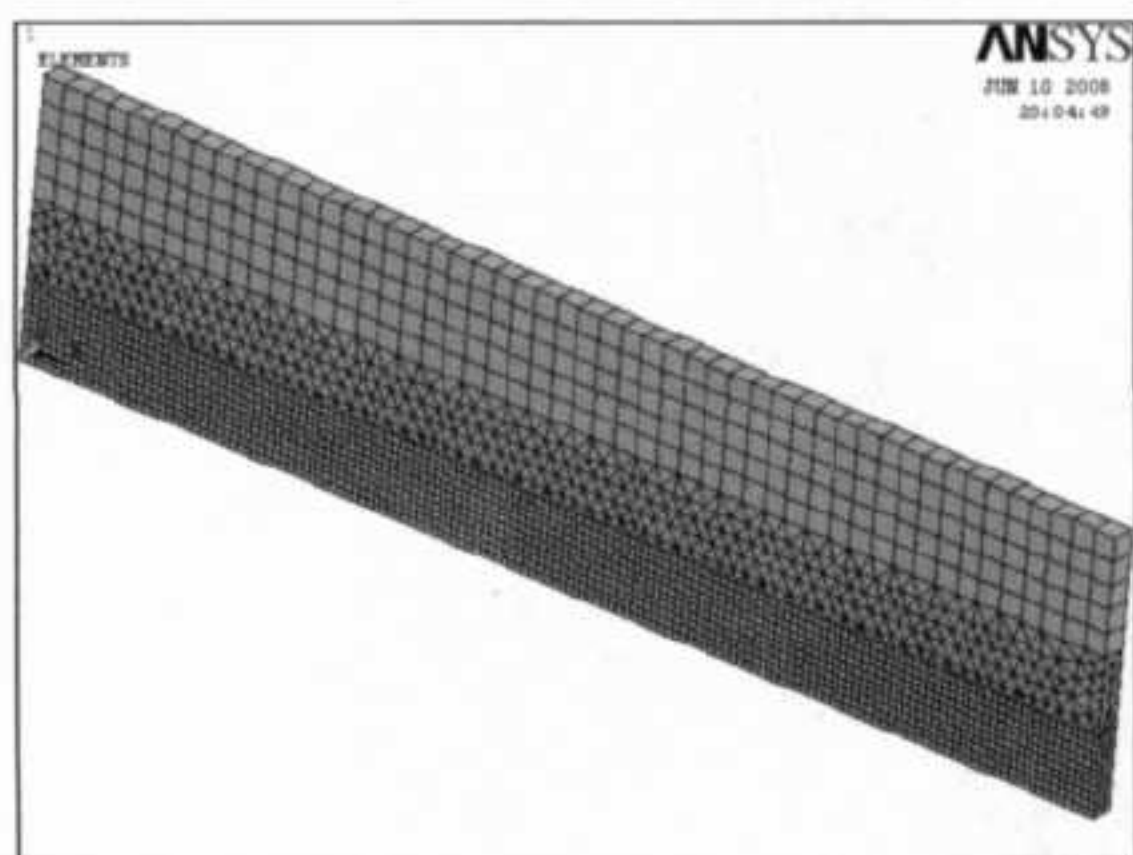


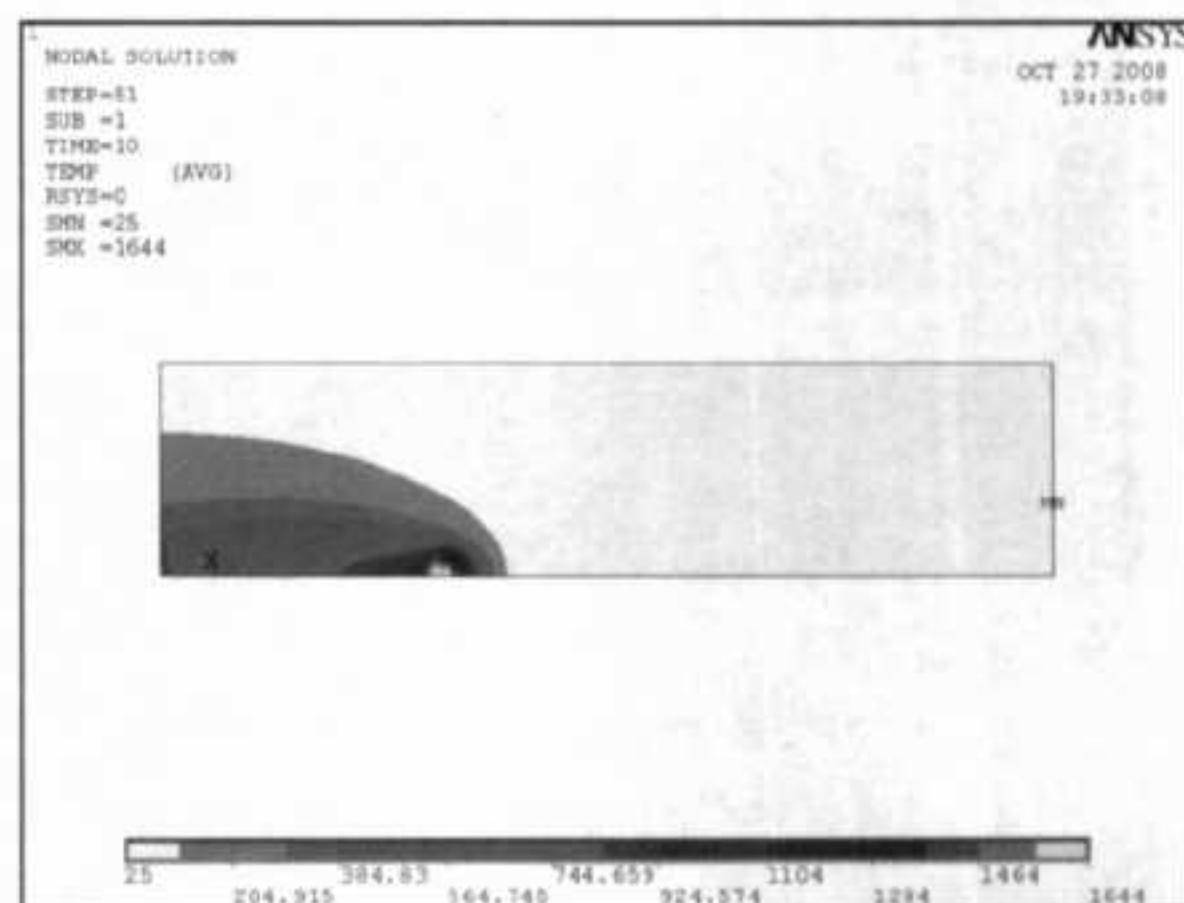
图 3 网格划分图示图

2 外加磁场作用 TIG 焊温度场模拟

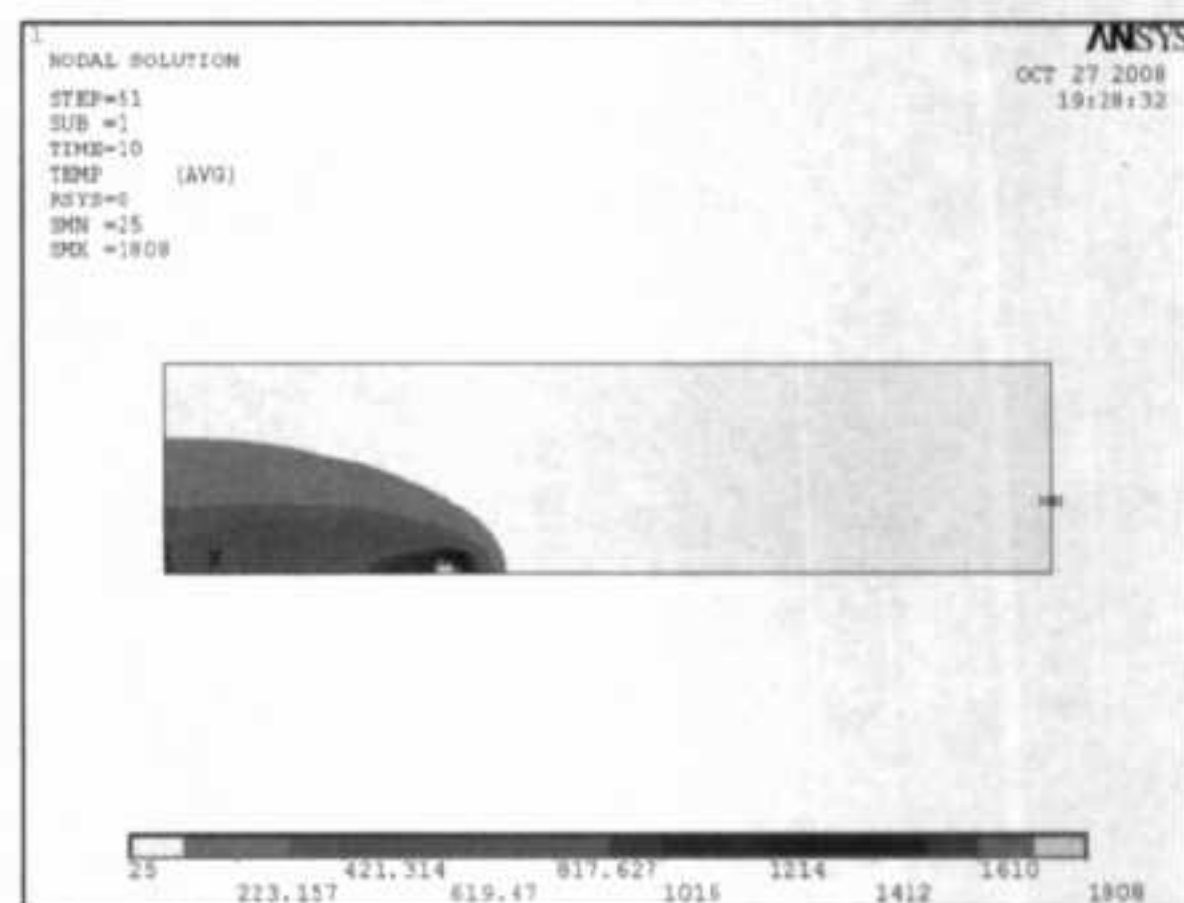
2.1 外加磁场对焊件温度场的影响

根据所建立的模型,对焊件进行了模拟计算,得到了熔池温度场分布。图 4(a)(b)为焊件表面的温

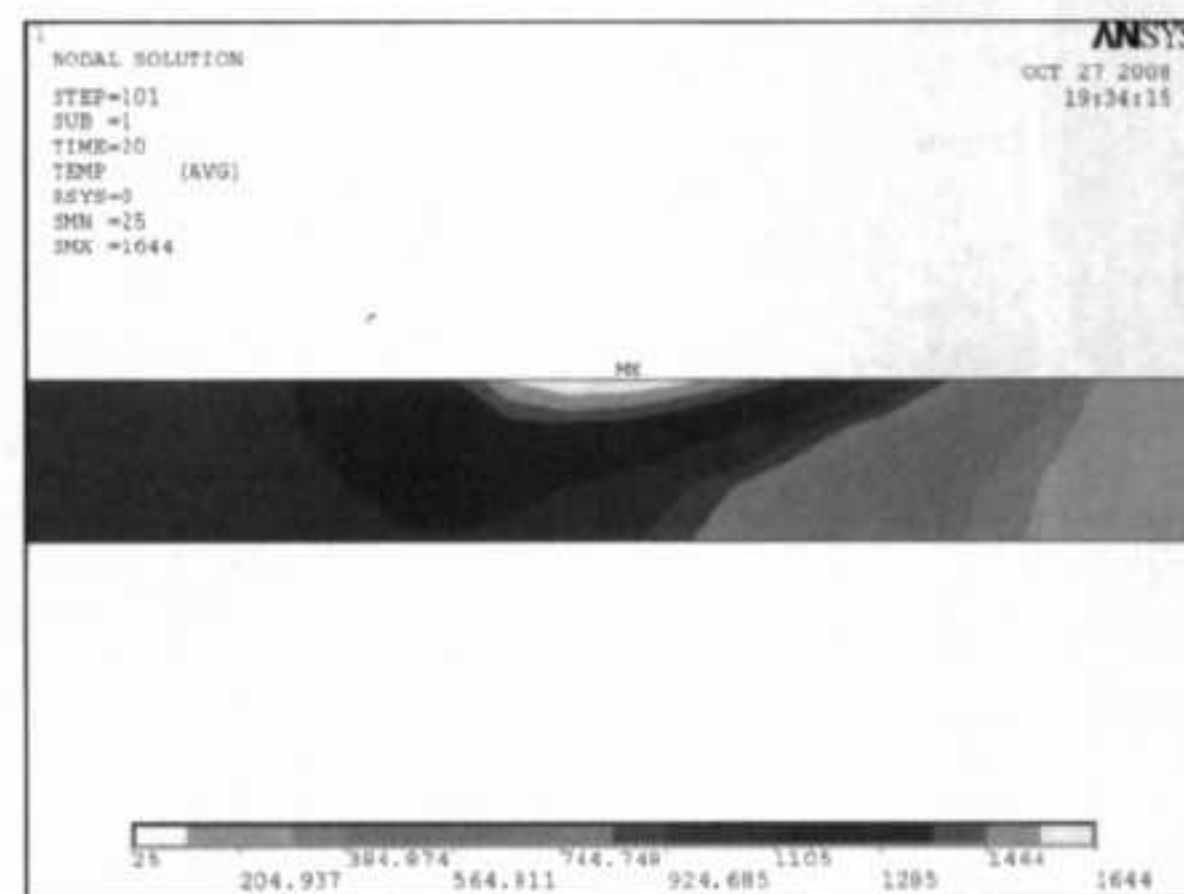
度场分布图,图 4(c)(d)为焊件纵截面的温度场分布图。



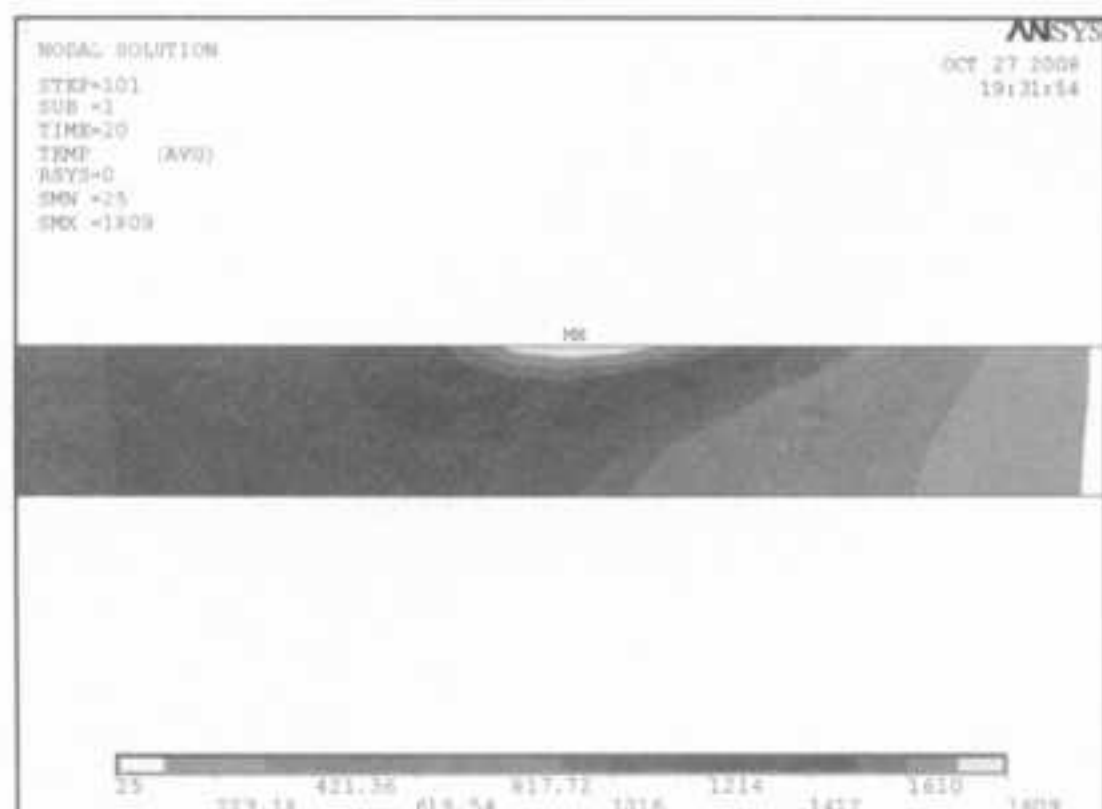
(a) $B=15\text{mT}$ 时焊接 10s 的温度场分布



(b) $B=0\text{mT}$ 时焊接 10s 的温度场分布



(c) $B=15\text{mT}$ 时焊接 20s 的焊缝纵截面温度场分布



(d) $B=0\text{mT}$ 时焊接 20s 的焊缝纵截面温度场分布

图 4 不同时刻不同磁场强度下温度场分布图

由图 4 可以看出, 磁场作用和不加磁场的工件表面温度场分布会有明显的差别。磁场作用的工件中心最高温度要比不加磁场的低, 但其在焊缝纵向温度分布范围要比不加磁场的广。

2.2 外加磁场对焊缝中心线上各节点温度变化的影响

在焊缝中心线上取等距 6 个节点(如图 5 所示), 沿焊接方向依次为 A, B, C, D, E, F, 其温度随时间变化曲线如图 6 所示。

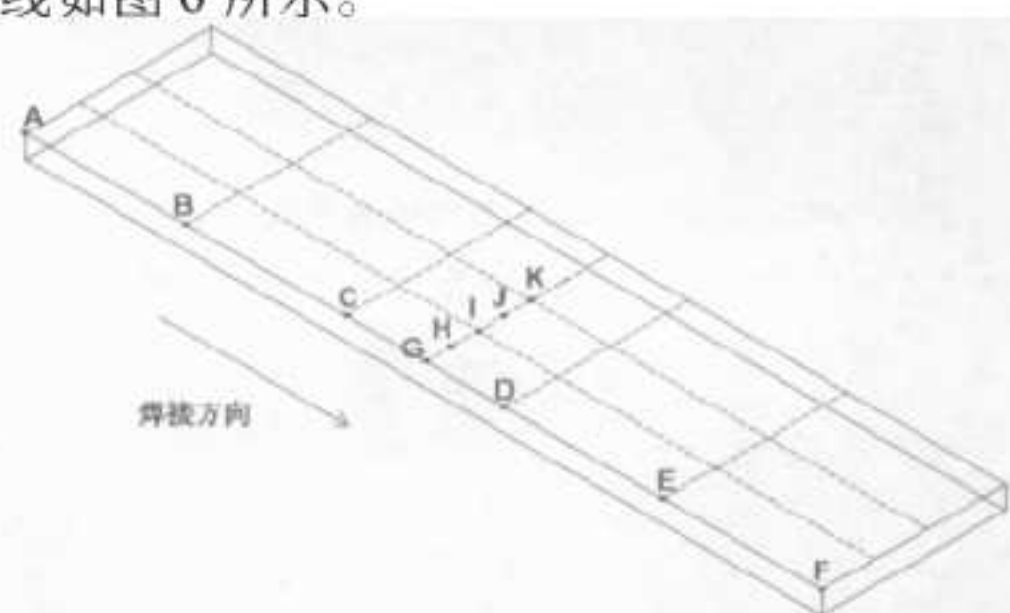
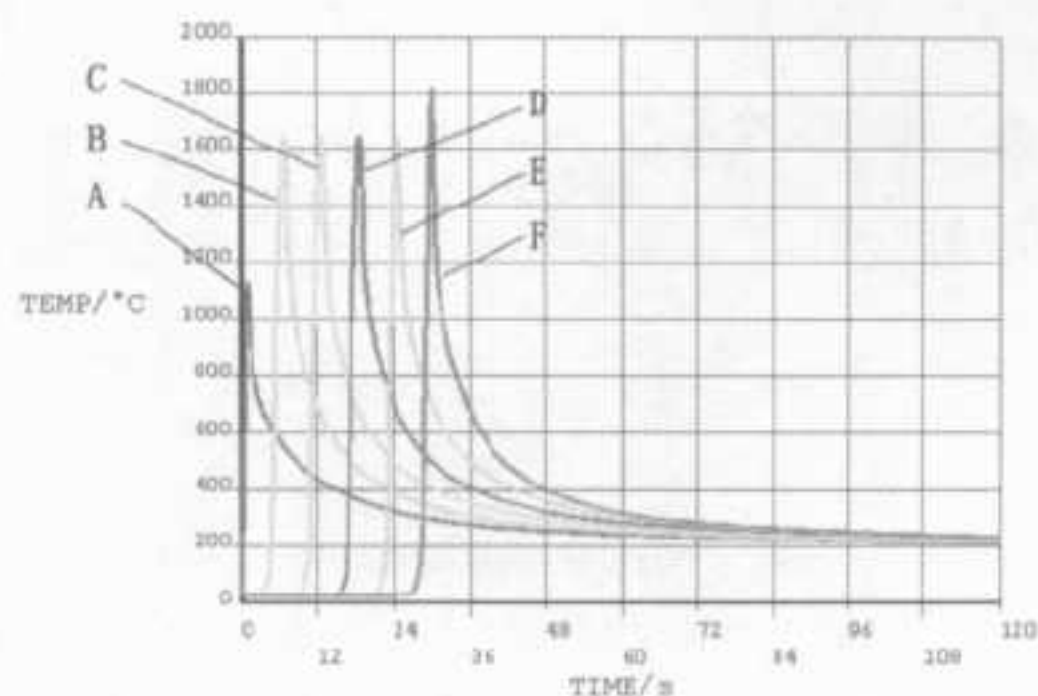
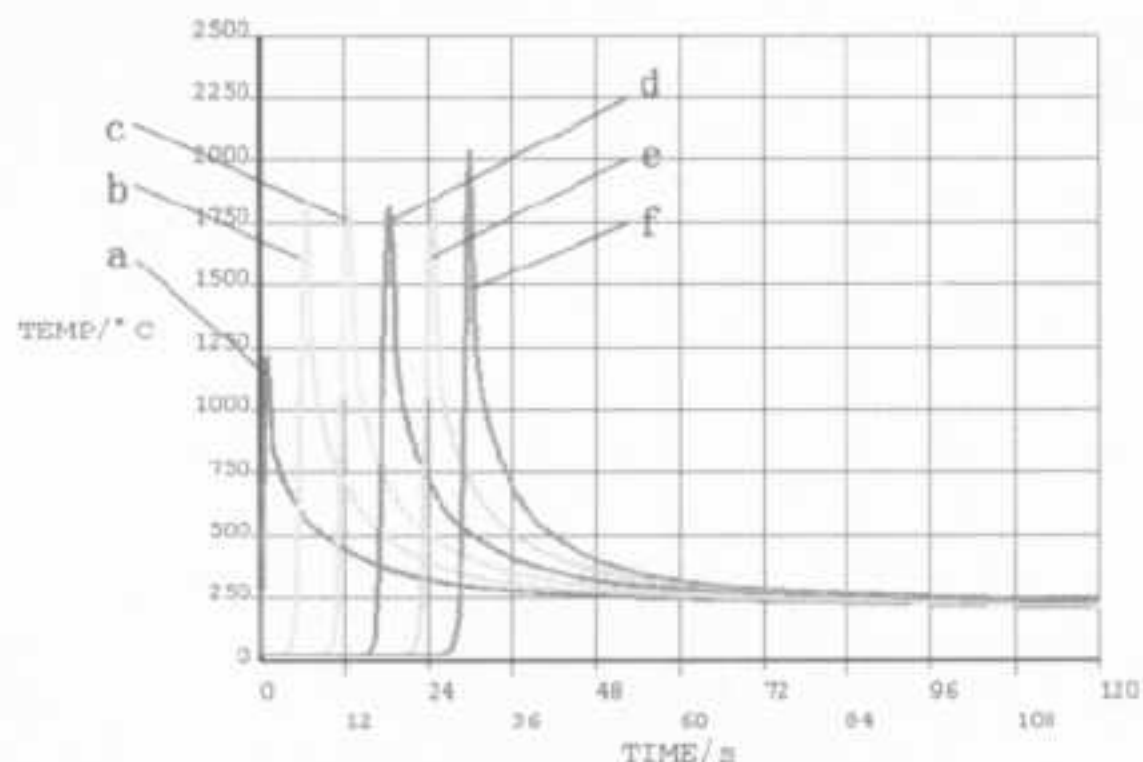


图 5 各节点示意图



(a) $B=15\text{mT}$ 时焊缝中心各点温度变化

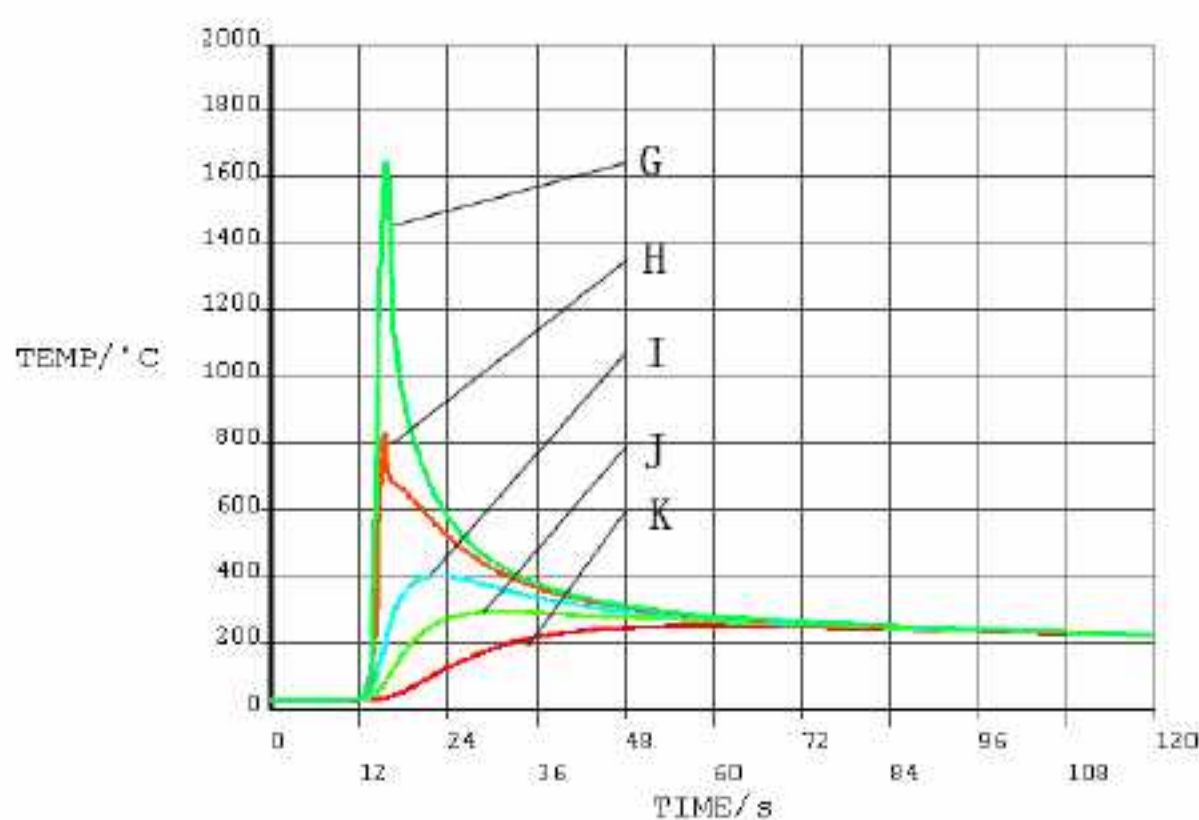


(b) $B=0\text{mT}$ 时焊缝中心各点温度变化

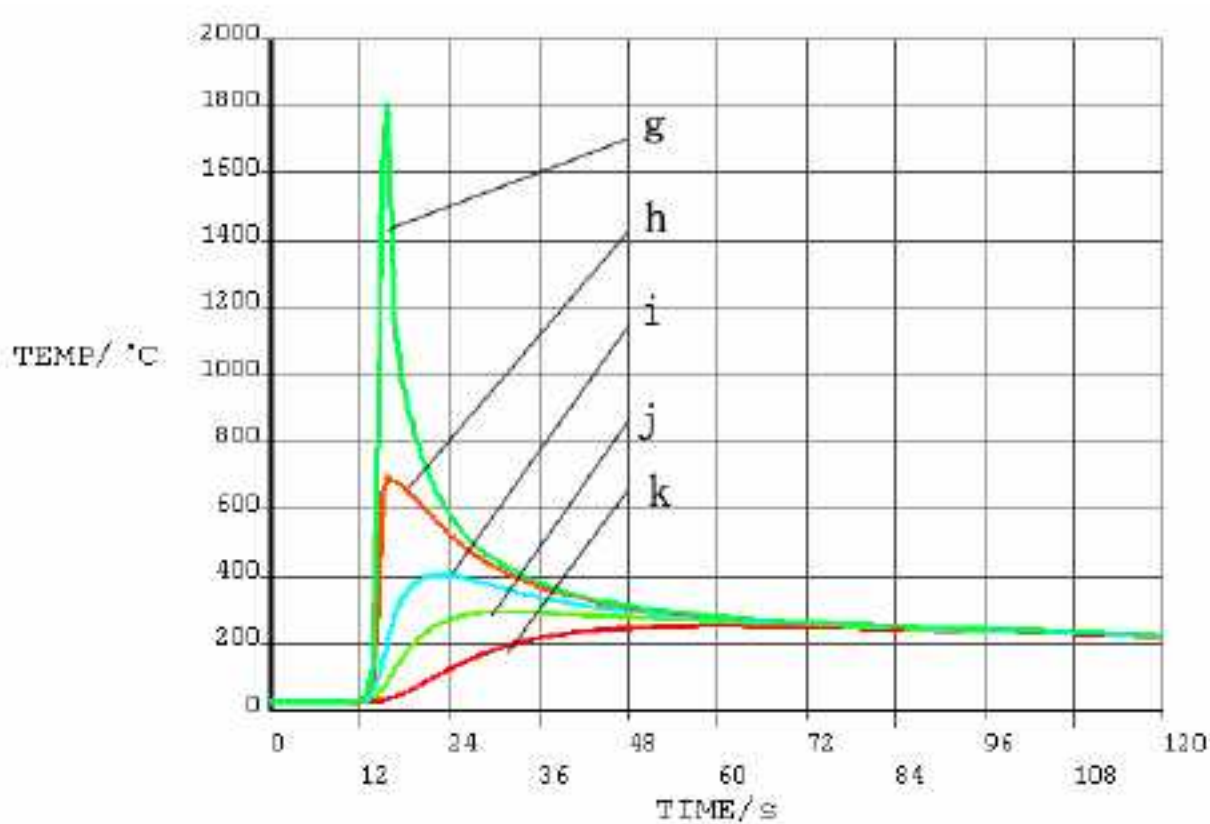
图 6 不同磁场强度下焊缝中心各点温度变化示意图

通过图 6 可以看到, 当焊接热源移动到某点时, 磁场作用的各节点的温度均低于不加磁场的相应的各节点。

2.3 外加磁场对焊缝宽度方向温度变化的影响



(a) $B=15\text{mT}$ 时垂直焊缝方向各节点温度变化



(b) $B=0\text{mT}$ 时垂直焊缝方向各节点温度变化

图 7 不同磁场强度下垂直焊缝方向各节点温度变化示意图

在焊缝焊缝宽度方向上取等距 5 个节点 (如图 5 所示), 从焊缝中心向外依次为 G,H,I,J,K, 其温度随时间变化曲线如图 7 所示。从图 7 可以看到, 当移动热源移动到某点时, 该点的温度迅速上升, 直到最大值, 后又迅速下降, 温度上升的速度明显比温度下降的速度快。在进入准稳定状态后, 各点的变化过程相同。两种工件的区别在于, 磁场作用的工件升温时间要慢一点, 且其最高温度也低于不加磁场的工件。

3 结果分析

模拟结果显示, 磁场作用的焊缝温度分布范围要比不加磁场的广, 但中心点温度比不加磁场的低, 表现在宏观外貌上, 熔池的熔深变浅, 熔宽变宽。这是由于在纵向磁场作用下, 电弧中带电粒子在等离子流力、热扩张力、洛仑兹力等力的联合作用下, 产生螺旋式高速旋转运动, 同时弧柱中气体粒子之间

的粘滯力,使得带电粒子的高速旋转必将带动中性粒子旋转,外加磁场的电弧形成为高速旋转的钟罩形,这使电弧扩张,电流密度在整个电弧径向上呈双峰分布,于是熔宽增大,电弧中心能量密度降低,从而影响焊接电弧对工件的能量输入,导致对熔池形状产生直接的影响^[7]。

4 结论

(1) 在外加纵向磁场作用 TIG 焊电弧中带电粒子运动理论的基础上, 探讨了外加纵向磁场对热源模型的影响, 并指出, 外加磁场作用 TIG 焊时, 电弧扩张导致电弧加热有效半径增大。

(2) 建立了外加纵向磁场作用 TIG 焊的热源模型, 利用实验求得外加纵向磁场对电弧影响系数。

(3) 对外加纵向磁场 TIG 焊温度场进行了数值模拟, 模拟结果符合外加磁场作用 TIG 焊时熔深变浅、熔宽变宽的现象, 证明了此热源模型的正确性。

[参考文献]

- [1]江淑园,陈焕明,刘志凌.磁控技术在焊接中的应用及进展[J].中国机械工程,2002,(21):1876-1879.
- [2]陈丙森.计算机辅助焊接技术[M].北京:机械工业出版社,1999:1-5.
- [3]莫春立,钱百年,国旭明等.焊接热源计算模式的研究发展[J].焊接学报,2001,(3):93-96.
- [4]武传松.焊接热过程与熔池形态[M].北京:机械工业出版社,2007:21-27.
- [5]傅积和.焊接数据资料手册[M].北京:机械工业出版社,1994:4-5.
- [6]王长利.焊接温度场和应力场的数值模拟[D].沈阳:沈阳工业大学,2002:54-59.
- [7]江淑园,陈焕明,熊震宇.外加磁场对 CO₂ 焊接焊缝成型的影响[J].焊接技术,2006,(2):23-24.

(责任编辑:杨名字)