

转移型等离子焊接枪电弧形态的数值模拟*

韩海玲^{1,2} 李德元¹ 董晓强¹

(¹沈阳工业大学 材料科学与工程学院,沈阳 110178)(²辽宁省交通高等专科学校 机电系,沈阳 110122)

Numerical simulation of the arc of transfer-type welding torch

HAN Hai-ling^{1,2}, LI De-yuan¹, DONG Xiao-qiang¹

(¹School of Materials Science and Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110178, China)

(²Mechanical & Electrical Engineering Department, Liaoning Provincial College of Communications, Shenyang 110122, China)

【摘要】采用 FLUENT 软件对等离子焊枪内部流场进行了数值模拟,从计算结果可以看出,等离子焊枪喷嘴通道长度在一定范围缩短,孔径越小,等离子弧的温度越高,为等离子焊枪的设计提供了理论依据。

关键词:等离子焊枪;内部流场;数值模拟

【Abstract】 Applied FLUENT software to numerical simulation of inside flow in the welding torch show that decreasing a range of the nozzle channel length of plasma welding gun or/and decreasing aperture will increase the plasma arc temperature, and provide theoretical references for the welding gun design.

Key words: Plasma welding gun; Inside flow; Numerical simulation

中图分类号:TH16, O539 文献标识码:A

1 引言

等离子焊接枪体已经广泛应用于航空、航天、原子反应堆以及化工机械、锅炉管道等焊接结构,但由于等离子焊枪内部的空间狭窄和高温的限制,给实验测量造成很大的困难。随着近年来计算机技术的发展,通过建立合理的数学模型,对等离子焊枪的数值模拟成为一种高效、经济的有效途径。复旦大学的袁行球等人对直流电弧等离子体炬的特性进行了数值模拟,计算了等离子体的传热和流动特性、湍流和等离子体炬运行参数对等离子体的影响,该文没有具体研究喷嘴结构对等离子电弧的影响^[1];李波等对切割用等离子弧进行了数值模拟研究,并分析了其电弧形态,但由于参数范围不同,其结论无法代表等离子焊接的情况^[2]。本文对等离子焊接焊枪通过基本假定,建立数学模型,采用 FLUENT 软件对等离子焊枪的内部流场进行了数值模拟,并通过改变喷嘴的尺寸,得到不同的流场分布,为设计等离子焊枪提供了一些参考数据。

2 数学模型

2.1 基本假定

电弧等离子体是轴对称的,计算时采用二维柱面坐标;等离子体处于局部热动态平衡(LTE);等离子体流动是稳定的层流流动;等离子体被认为是光学薄的;流动区域忽略压力变化;忽略电弧自感应电场和重力场的影响。

2.2 模型及边界条件

等离子焊枪的模型和网格,如图1所示。计算区域 ABCDE-FGHI,其中 ABC 为阴极,锥角为 60°,DE 为阳极,压缩角为 90°,FGHI 为喷嘴,AI 为工作气体氩气入口,氩气随温度变化的物性参数见参考文献^[3],EF 为等离子体压力出口,等离子弧长 CD 为

10mm,模型参数的选择依据参考文献^[4]。气体入口速度为 2m/s 是垂直于 AI 面;出口压力为 1atm;阴阳极和喷嘴采用无滑移边界,阴极温度为 3500K,电流为 200A,阴极电流密度采用 Hsu 的计算方法^[5-9],阳极温度为 1000K,电压为 0,其他边界电流密度为 0。

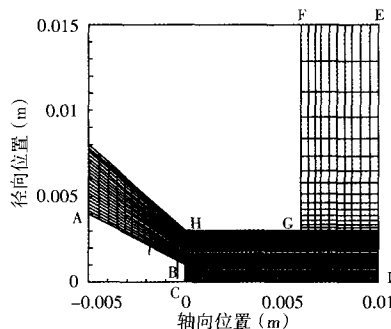


图1 计算模型

3 计算结果

通过求解守恒方程,得到等离子焊枪的温度、电流密度、电磁力和速度分布,如图2~图5所示。由图2可知,电极附近的电弧温度梯度很大,最高温度值超过了 22000K,位置在阴极顶端附近,在轴线方向上从阴极到阳极电弧温度逐渐降低,并扩散开来。由图3可知,电子离开阴极进入阳极,由于阴极面积小,温度高,所以电流密度在阴极顶端达到最大值 $1.2 \times 10^8 \text{ A/m}^2$,也就是说在轴线上,越靠近阴极电流密度越大,在径向上,距离电弧中心越近,电流密度越大。由图4可知,电磁力是使电弧等离子体向阳极和轴线中心方向运动的。由于电流密度在阴极附近达到最大,所以阴极顶端附近得到的加速度也最大,而阳极表面电流密度,导致阳极附近电磁力也很小。由图5可知电弧等离子体在电磁力的作用下,由阴极向阳极流动形成等离子流体。当等离子流体到达阳

极表面,收到阳极表面的阻碍,从而产生对阳极表面的冲击,也就是电弧压力。

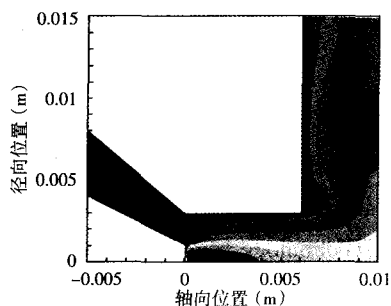


图2 等离子焊枪的温度分布

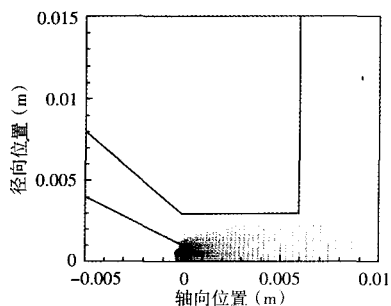


图3 等离子焊枪的电流密度矢量分布

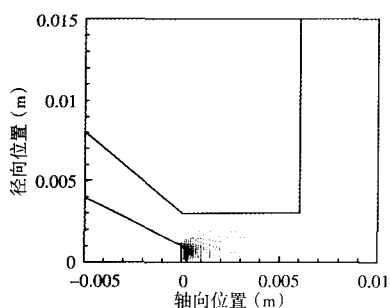


图4 等离子焊枪的电磁力矢量分布

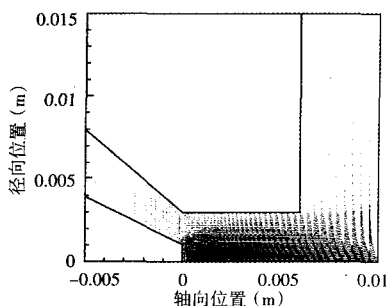


图5 等离子焊枪的速度矢量分布

4 喷嘴结构尺寸的影响

当喷嘴口径 d 为 4mm, 喷嘴长度 L 分别为 4mm、6mm 和 8mm 时, 计算得到电弧轴向温度和喷嘴出口处径向温度, 如图 6 所示。由图可知, $L=4\text{mm}$ 的焊枪最高温度 23195K, $L=6\text{mm}$ 的焊枪最高温度 23007K, $L=8\text{mm}$ 的焊枪最高温度 22840K。随着通道长度 L 的增加, 等离子体由于喷嘴壁面的冷却作用而使等离子体热能的换热损失增加, 所以最高温度有所下降。

当 L 保持为 6mm 不变, d 分别为 4mm、5mm 和 6mm 时, 计算得到轴向温度以及喷嘴出口处温度, 如图 7、图 8 所示。由图中

可以看出, 三种不同口径对应的焊枪最高温度分别是 23006K、22525K 和 22202K, 也就是说当等离子焊枪喷嘴通道长度不变, 喷嘴孔径越小, 等离子体温度越高, 出口处轴线中心温度也越高。喷嘴孔径越小, 最高温度点离阴极前端距离越大; 等离子焊枪孔径每减少 1mm, 最高等离子体温度值约提高 (1~2)% 左右。

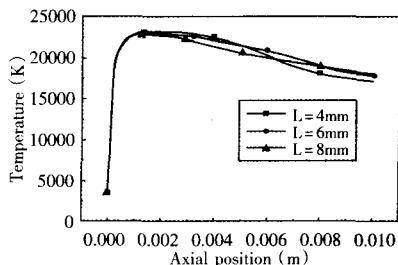


图6 沿轴向等离子体温度

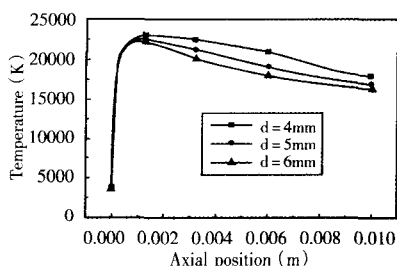


图7 沿轴向等离子体温度

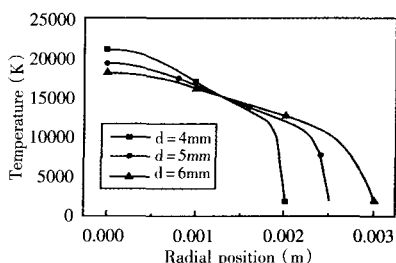


图8 沿径向等离子体温度

5 结论

(1) 当焊接电流为 200A 时, 等离子焊接枪体的工作温度可达 (22000~23000) K; 在阴极顶端电流密度最高可达到 $1.2\text{e}8\text{A/m}^2$ 。

(2) 当等离子焊枪的喷嘴直径为定值时, 喷嘴通道长度变短, 等离子电弧的最高温度有所提高, 到达阳极表面的温度最低。

(3) 当等离子焊枪的喷嘴通道长度一定时, 等离子焊枪孔径每减少 1mm, 最高等离子体温度值约提高 (1~2)%。

参考文献

- 袁行球, 李辉, 赵太泽, 王飞等. 直流电弧等离子体炬的特性研究[J]. 物理学报, 2004, 11(53): 3806~3813
- 李波, 吴杰峰. 切割用等离子弧的数值分析[J]. 焊接学报, 2007, 9(28): 95~98
- 陈熙. 高温电离气体的传热与流动[M]. 北京: 科学出版社, 1993
- 姜焕中. 焊接方法及设备[M]. 北京: 机械工业出版社, 1981
- Hsu K. C., Etemadi K., Pfender E.. Study of the free-burning high-intensity argon arc[J]. J. Appl. Phys, 1983, 54(3): 1293~1301
- Freton P., Gonzalez J. J., Gleizes A.. Comparison between a two- a three-dimensional arc plasma configuration[J]. J. Phys. D: Appl. Phys, 2000, 33(19): 2442~2452