

文章编号: 1006-1088(2005)01-0090-04

对接间隙对钽薄板 TIG 氦弧焊熔池形态影响的数值分析

姜泽东¹, 周方明^{1,2}, 李桂鹏³, 钱乙余²

(1. 江苏科技大学 材料科学与工程学院, 江苏 镇江 212003; 2. 哈尔滨工业大学 现代焊接生产技术国家重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150001; 3. 西北稀有金属材料研究所, 宁夏 石嘴山 753000)

摘 要: 为了研究焊接过程中对接间隙对熔池形态的影响, 本文基于有限元分析软件 ANSYS, 针对钽薄板微间隙 TIG 氦弧焊接方法, 用数值模拟的方法计算了钽薄板 TIG 氦弧对接焊接过程中对接间隙存在时温度场的分布以及不同对接间隙时熔池表面形态的变化。分析了对接间隙的变化对熔池表面形状的影响, 并对间隙存在时焊枪偏离焊缝中心的温度场进行了分析。计算了由于边缘效应和焊接热源有效作用范围带来的热传递效应不同时工件内温度场的分布。计算结果表明间隙的存在造成温度场分布不均, 是熔池表面形态呈现椭圆形的一个决定性因素, 这种影响随焊接时间的增加更为明显。研究结果对制定 TIG 焊工艺具有实际指导意义。

关键词: 钽; 熔池; 对接焊; 氦弧; 微间隙; 数值分析**中图分类号:** TP444.72**文献标识码:** A

Numerical Analysis of Effect of Butt Gap on Molten Pool Form in TIG Helium-arc Welding of Tantalum Sheet

JIANG Ze-dong¹, ZHOU Fang-ming^{1,2}, LI Gui-peng³, Qian Yi-yu²(1. School of Materials Science and Eng., Jiangsu University of Science and Technology, Jiangsu Zhenjiang 212003, China;
2. Harbin Institute of Technology, Harbin Heilongjiang 150001, China;
3. Northwest Rare Metal Material Research Institute, Shizuishan Ningxia 150001, China)

Abstract: To study the effect of butt gap on the molten pool form in welding, the butt gap is simulated and the temperature field is calculated by means of ANSYS. According to the characters of TIG helium arc butt-welding of tantalum sheet, the change of the molten pool form is investigated during the welding process. The effect of the change of butt gap on the molten pool form is analyzed. The temperature field of the work piece is calculated when the domino effect of heat conduction brought by the fringe-effect and the available range of the welding heat source. The gap makes the temperature field uneven and it is the decisive reason that the superficial shape of molten pool becomes ellipse. The results show that the effect is obviously changed with the welding time. The research results are useful in instructing of arc-welding process.

Key words: tantalum; molten pool; butt-welding; helium-arc; micro-gap; numerical analysis**收稿日期:** 2004-06-11**基金项目:** 企业协作技术课题**作者简介:** 姜泽东(1979-), 男, 吉林榆树人, 江苏科技大学硕士研究生。

0 引言

钼是一种塑性较好, 容易制作加工的难熔稀有金属, 广泛应用于化学工业、航天工业、核能工业和电子工业等领域^[1]。工业生产中, 钼结构件通常是用焊接的方法来加工制造, 但钼在焊接过程中存在吸气、晶粒粗大及易形成气孔和裂纹等问题^[2,3], 而且其特殊的应用环境对焊接质量要求很高, 所以保证焊接质量成为亟待解决的课题。现有的资料显示, 钼的焊接成形方面的研究还非常缺乏, 因此开展对钼焊接工艺的研究具有实际意义。焊接过程是个局部快速加热到高温并随后冷却的过程, 整个焊件的温度随时间和空间急剧变化, 易形成在时间和空间域内梯度都很大的不均匀温度场, 温度场的分布决定着焊缝区和热影响区的范围, 对焊接接头的质量有着直接影响。实际工业中的平板对接焊工艺, 由于固定夹具的机械误差以及一些人为因素, 极易使对接工件产生微小的间隙, 而微小的间隙对工件温度场有着极大的影响。目前对焊接温度场计算的研究仅限于单板重熔和无间隙对接焊^[4], 而间隙的存在是影响焊缝成形和焊接质量的一个重要因素, 因此开展这方面的研究有着重大意义。

1 计算模型与边界条件

1.1 计算模型

本文采用了有限元分析软件 ANSYS7.0, 对模型进行了相应的数值化处理, 在计算过程中使用了实体单元 solid70 和表面单元 surf152 相结合, 除了施加整体与外界的对流散热条件外还考虑了工件与夹具和保护胎具之间的传热。因为模型的对称性, 本次计算只选取了对接焊实验中的一块试板进行建模计算。为保证对接间隙, 在工艺性能试验中采用专用夹具将工件固定于工作平台, 工件尺寸为 20 mm×50 mm×0.5 mm 的钼薄板。焊接试验过程中采用自制反面保护胎具, 对工件进行双面气体保护: 正面保护气体为氩气, 气流量 7 L/min; 反面保护气体为氩气, 气流量 5 L/min。焊接电流 $I=75$

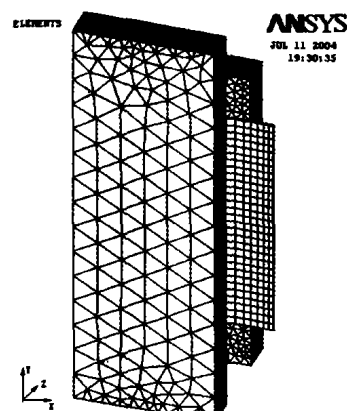


图 1 非均匀网格划分型式

Fig. 1 Form of uneven grid

A, 焊接电压 $U=17.4$ V, 弧长 2 mm。基于 ANSYS 自适应网格划分技术, 本次研究采用四面体和六面体单元相结合的网格划分原则, 对工件和夹具进行不同单元形状的网格划分。模型采用非均匀网格的方法来进行单元的划分。如图 1 所示, 在对接面及近缝区域, 采用较为细密的网格划分, 而在远离焊缝区, 采用较粗略的网格划分。这样可以兼顾计算精度与速度。

1.2 热源加载形式

电弧加热区的热能分布按照接近实际的高斯分布形式, 电弧加热半径内任意一点 $r(x, y)$ 的热流量分布见式(1)^[6]。

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

式中: η 表示加热效率, 在本文中取 0.7; U 为电弧电压; I 为焊接电流; r_H 为电弧加热斑点区半径。

1.3 边界条件的处理

1) 引弧时刻的初始条件:

$$T = T_0 \quad (2)$$

式中: T 是工件上的温度, T_0 为初始温度室温(298 K)。

2) 计算时将间隙处对接面设为对流边界, 考虑空气在间隙处流通时与工件的对接面产生对流散热。工件与空气热交换对流边界条件:

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = -h(T - T_0) \quad (3)$$

式中: $\frac{\partial T}{\partial n}$ 表示工件上任意方向的温度梯度; λ 为材料的导热系数; h 为材料的对流系数。

2 计算结果与分析

2.1 对接间隙对工件表面温度场的影响

为了分析对接间隙的存在对工件温度场的影响, 对间隙为 0.09 mm 和间隙不存在 2 种情况进行了建模计算, 建模时在工件对接面处分别采用对流和传导 2 种边界条件。计算结果表明, 无对接间隙时, 熔池表面形状呈圆形即 x 方向与 y 方向熔宽相等;

对接间隙存在时熔池表面形状呈椭圆形即 x 方向与 y 方向熔宽不等。这是因为对接间隙存在时, 对接面处的对流散热速度慢, 使得等温线在 x 方向上分布较密而 y 方向上分布稀疏, 因此 y 方向的熔宽大于 x 方向上的熔宽, 这种影响随焊接时间的变化更加明显。图 2 表明了 x 方向与 y 方向上熔宽随焊接时间变化的规律。间隙的存在是熔池形态变化的一个因素。2 种边界条件下的计算结果参见表 1。

表 1 2 种边界条件下熔宽的比较

Tab. 1 Contrast of molten width in two kinds of boundary conditions

焊接时间 / s	x 方向熔宽 / mm (对流边界条件)	y 方向熔宽 / mm (对流边界条件)	熔宽 / mm (传导边界条件)
0.3	1.95	1.98	1.98
0.5	2.90	3.05	3.15
0.7	3.30	3.6	3.75
0.9	3.45	4.15	4.2
1.1	3.62	4.6	4.8

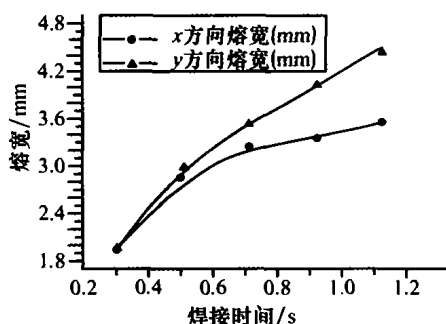


图 2 小间隙对接焊熔宽随焊接时间变化曲线
(间隙 0.09 mm, $I=75$ A, $U=17.4$ V)

Fig. 2 Curve of molten width changed with welding time when small gap exists

为了进一步分析间隙对工件上温度场分布的影响规律, 分别在间隙的对接面上和工件内部选取了距离电弧加热中心为 5 mm 的节点, 选取方法示意图参见图 3。为了排除夹具导热对工件上不同位置温度场的影响, 在有无对接间隙 2 种情况下对 A、B 两点温度差值的变化进行了计算, 在相同时间内 2 种条件下 A、B 两点的温度差值的变化曲线如图 4 所示。从图 4 中可以看出由于夹具导热的影响, A、B 两点的温度有着一定的差值; 当间隙存在时, 由于间隙的影响, 工件对接面温度上升速度快, 且在相同时

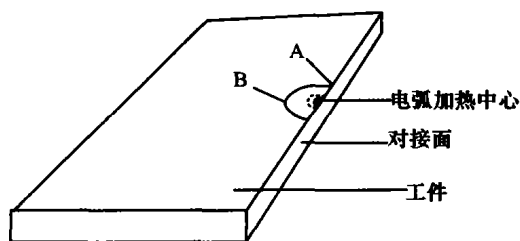


图 3 距电弧中心等距离点的选取方法

Fig. 3 Selection of node being equally away from the center of arc

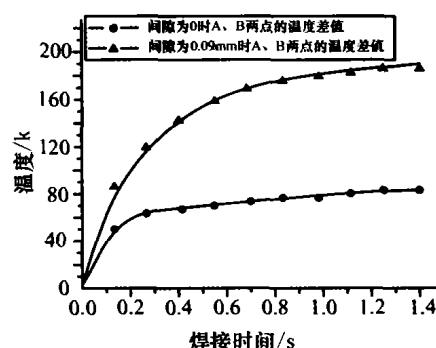


图 4 工件上不同区域距电弧中心等距离点的升温曲线 ($I=75$ A, $U=17.4$ V)

Fig. 4 Curve for raising temperature of the node being equally away from center of arc in different zone of the workpiece

的温度差值较无对接间隙时大得多。

2.2 不同对接间隙对工件表面温度场的影响

当两焊接板间存在间隙时,对接板与周围环境产生了热对流,带走了一部分热量,从而降低了板内温度。对接间隙的大小直接影响着电弧的有效作用范围,在焊接间隙允许范围内对不同间隙时 x 方向和 y 方向的熔宽进行了计算,计算结果表明由于电弧有效作用范围的改变熔宽大小随间隙的变大而逐渐减小, x 方向与 y 方向的熔宽差距随对接间隙的变大而增大,图 5 为热源作用 0.25 s 时熔宽随对接间隙变化的曲线。

焊枪位置偏离焊缝中心时,使得焊缝成形不良而影响焊接质量。据此对间隙为 0.1 mm 焊枪距两对接面分别为 0.02 mm 和 0.08 mm 时及相对应的无对接间隙情况下焊枪位置在两对接板上的相同的偏差时工件上的温度场进行了计算,焊接热源作用 1 s 后两对接板上的温度差值变化曲线参见图 6。计算结果表明焊枪偏离焊缝中心时,若两板间不存在对接间隙,由于两对接板间存在强烈的传导换热,使得两板内的温度分布差异不明显,对接间隙存在时,对接间隙带来的边缘效应及焊接热源有效作用范围带来的热传递效应不同,使得两板上温度分布差异很大,特别是温度峰值差异会更大,本次计算中焊枪偏离 0.06 mm 时,温度峰值差值就有 200 K 左右,不过这种温度差异在远离焊接热源处不明显。

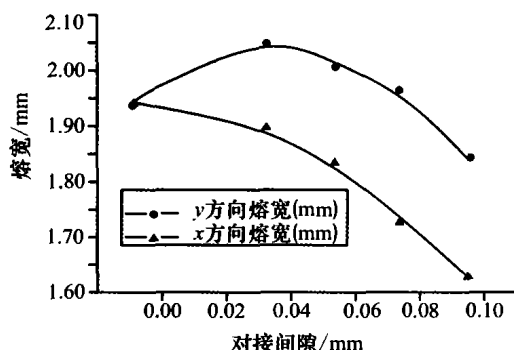


图 5 不同间隙时熔宽变化曲线
($I=75\text{ A}$, $U=17.4\text{ V}$, $t=0.25\text{ s}$)

Fig. 5 Curve of molten width changed with different gap

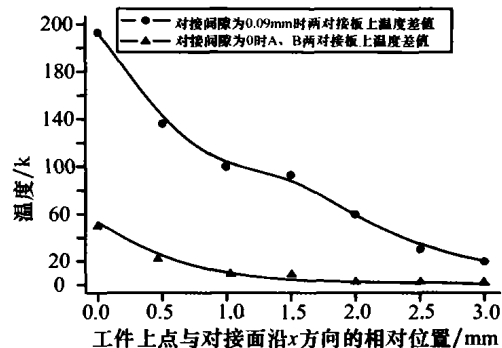


图 6 焊枪偏离焊缝中心时工件上温度变化曲线
($I=75\text{ A}$, $U=17.4\text{ V}$, $t=1\text{ s}$)

Fig. 6 Temperature changing curve of workpiece when the welding gun departed from center of weld

3 结 论

本文分析了不同对接间隙对焊接温度场的影响。通过焊接工艺试验对本文所建立的模型进行了验证,结果表明所建立的模型是正确的,所采用的数值计算方法是可行的,计算结果和实验结果相近。并得到如下规律:

- 1) 间隙的存在使得温度场分布不均,是熔池表面形状呈现椭圆形的一个决定性的因素,这种影响随焊接时间的增加更为明显。
- 2) 在其他焊接工艺参数相同的情况下,对接间隙的大小决定着电弧的有效作用范围,随着对接间隙的增大熔宽尺寸呈现减小趋势,且 X 方向熔宽减小趋势较 Y 方向明显得多,这种影响使得熔池表面形态椭圆化更加明显。
- 3) 焊枪偏离焊缝中心时,对接间隙带来的边缘效应使得两对接板上的温度差异较无间隙时大得多,使得两板上熔池尺寸差异明显,造成焊缝成形不良,这就要求在有间隙 TIG 氩弧焊过程中焊枪位置要严格对中以保证焊接质量。

参考文献:

- [1] 顾钰熹. 特种工程材料焊接[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,1998.
- [2] 范如源,郭 鹏. 钽-12 钨焊接工艺实验研究[J]. 机械工艺师, 2001,(5):27-29.
- [3] ROWE C E D. The welding of chemical cage of tantalum [J]. Metal Constrction, 1984, 12(2):32-35.
- [4] 夏耀勤. 钽(工业纯钽)[J]. 稀有金属材料与工程, 1989,(2):77-79.
- [5] 吴言高,李午申,冯灵芝,等. 焊接数值模拟技术发展现状[J]. 焊接学报, 2002, 23(3):89-93.
- [6] 武传松. 焊接热过程数值分析[M]. 哈尔滨:哈尔滨大学出版社,1990.

(责任编辑:顾 琳)