

小孔激光焊接熔池形状的实验和模拟分析

骆 红 胡伦骥 刘建华 胡席远 梁伟建
(华中理工大学材料科学与工程系, 武汉, 430074)

摘要: 对低碳钢进行激光焊接后, 发现焊缝熔深存在着 30Hz~ 40Hz 的低频振荡。同时在仅考虑小孔壁对激光的吸收和工件的热传导的条件下, 利用这种简化后的能量平衡模型所得的熔池温度分布解析解对熔池形状进行模拟, 模拟的熔池形状与实验结果基本吻合。

关键词: 激光焊接 模拟

Experiments and modelling for weld shape in keyhole laser welding

Luo Hong, Hu Lunji, Liu Jianhua, Hu Xiyuan, Liang Weijian
(Department of Materials Science & Engineering, HUST, Wuhan, 430074)

Abstract: In this paper, it is found that there existed a little fluctuation in the weld depth at the frequency of 30~ 40Hz, when a mild steel had been welding by a laser beam. The laser welding is a very complex procedure, including absorption of the light energy, generation of plasma, heat conduction, et cetera. So we consider a relative simple model to simulate the laser energy Fresnel-absorption of the keyhole wall and stationery temperature field of the melting cell, based on the heat conduction of the workpiece. Finally, the analytical solution can be achieved and the simulations are consistent with experimental results.

Key words: laser welding modelling

一、引 言

在深熔小孔激光焊接中, 由于小孔的形成, 等离子体的出现, 激光能量的耦合及传递是十分复杂的。等离子体中的电子可通过逆韧致辐射吸收一部分能量。小孔的存在改变了激光对工件材料的入射角度而提高了材料对激光的吸收率。上述现象使得对小孔激光焊接时的熔池形状的模拟比较困难。本文利用简化的能量平衡条件较成功地模拟出了熔池的形状。

二、实验装置及结果

实验所用激光器为纵向快流型激光器, 激光功率 1500W, 透镜焦距 127mm, 离焦量为零。工件安装在数控二维工作台上, 焊速 2m/min。并用 Ar 气作保护气体, 气流量为 6L/min。所用实验材料为 3.4mm 厚的低碳钢。在平板上进行激光堆焊焊缝的纵横截面如图 1 所示。

从实验结果来看, 焊缝熔深 $H = 1.68\text{mm}$, 熔宽 $B = 1.12\text{mm}$, 深宽比 = 1.5, 属小孔型激光焊接。

从焊缝的纵截面图看, 熔深存在微量起伏振荡, 根据图上熔深波动的周期长度及焊速计算



Fig. 1 The structures of transverse section and longitudinal section of the welding bead ($\times 40$)

可得熔深振荡频率在 30Hz~40Hz 之间,这大大低于我们在实验中利用光声信号测量的等离子体振荡频率(1kHz~2kHz)。看来熔深的振荡是由于熔池结晶潜热的释放而造成的,与等离子体的关联不大。

三、模型的简化和计算

在本次实验中,由于所用激光功率不高,因此等离子体中的电子密度和温度较低,由其中的电子对激光光子的逆韧致吸收较弱,吸收率不大。因此将这部分能量忽略。

在熔池能量平衡的计算中,吸收的能量仅考虑小孔壁对激光的吸收,能量的散失仅考虑工件的热传导,忽略等离子体的形成、材料的蒸发、热辐射等过程。

1. 小孔对激光的吸收

材料对激光的吸收主要由 Fresnel 公式描述。随着激光对材料入射角度的改变,吸收率有很大差别^[1]。如图 2 所示。在深熔激光焊接中,由于小孔的存在导致激光对小孔壁几乎是垂直入射,因此工件材料对激光的吸收率大大提高。

由此得出任意一表面对激光辐射的吸收为:

$$P_{\text{abs}} = \int_F l(x, y, z) A(\alpha) \cos(\alpha) dF \quad (1)$$

式中, $l(x, y, z)$ 为激光的空间强度分布; $A(\alpha)$ 为由激光对材料入射角所决定的材料对激光的吸收率; dF 为工件表面上的一个单元。

2. 工件的加热

描述工件加热的热传导方程为: $\rho C_P \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_P V \frac{\partial T}{\partial x} = -K \Delta T$

式中, ρ 为工件材料的密度; C_P 为材料的容积比热容量; V 为激光扫描速度; K 为材料的热传导率。

如果将小孔吸收的激光能量看做一移动线热源,并考虑一定的边界条件^[2],可获得熔池稳态温度场分布的解析解为^[1]:

$$T(X, Y) = T_a + \frac{AP_L}{2\pi DK} \exp\left(\frac{VX}{2K}\right) K_0\left[\frac{VY}{2K}\right]$$

式中, $T(X, Y)$ 为熔池二维稳态温度分布; T_a 为环境温度; P_L 为激光功率; D 为材料厚度; K 为材料的热扩散系数; $K_0(\quad)$ 为第二类零阶贝塞尔函数。

上述方程被广泛用于描述深熔激光焊接中熔池温度场的分布,来确定熔化等温线即熔池形状。

根据上述解析方程编制了计算软件对激光深熔焊接过程中熔池形状进行了模拟。

3. 计算结果

利用上述软件对熔池形状进行模拟的结果如图 3 所示。

从计算结果来看,熔深 $H = 1.71\text{mm}$, 熔宽 $B = 1.13\text{mm}$, 与实验结果较吻合。看来用解析法对熔池形状进行计算也是一种可行的模拟方法。

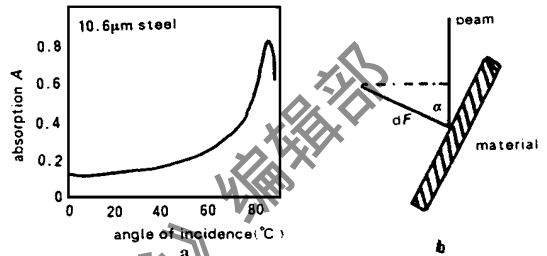


Fig. 2 a—Fresnel absorption dependent on the angle of incidence b—absorbing wall element

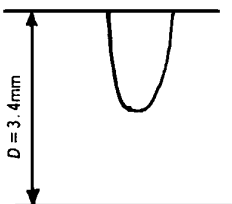


Fig. 3 Computed weld shape

高灵敏度的多波长多光束干涉仪

吴宝根

(中国科学院力学研究所, 北京, 100080)

摘要: 作者用多纵模 He-Ne 激光照明多光束 Fabry-Perot 或 Fizeau 干涉仪, 在一个自由光谱范围内, 形成与不同波长对应的子条纹, 相邻条纹间的间隔代表的波长数依赖于 He-Ne 激光腔的光学长度 $n_p L$ 与 F-P 腔长 nd 之比 $r = nd / n_p L$ 。当 r 是整数时, 不同波长对应的相邻干涉级次相互重叠, 条纹间隔为 $\lambda/2$ 且强度最大; 当 r 是分数时, $r = N/M$, N, M 为互质的整数, 相邻条纹之间间隔为 $\lambda/2M$ 。不难做到 $M = 10$, 条纹间隔为 $\lambda/20$ 。由于多光束干涉条纹细而锐, 有利于读数精度提高, 可以测量 $\lambda/500$ 的程差变化, 不需内插就可以给出空间分布的足够信息。这对光学元件的高精度面形检验及低密度流场显示有实际的应用前景。给出了应用的若干例子。

关键词: 多光束干涉 流场测量 光学元件检验

High sensitivity multiple beam interferometry

Wu Baogen

(Institute of Mechanics, Academia Sinica, Beijing, 100080)

Abstract It is shown that a Fabry-Perot interferometer with small wedge angle or a Fizeau interferometer is illuminated by a collimated multiple longitudinal mode He-Ne laser beam, the spacing of adjacent fringes depends on the ratio $r = d/L$, here d and L are the length of the interferometer and laser cavity. When r is a integral, the different order fringes corresponding to different modes are overlapped and the intensity of fringes is maximum and the fringe spacing represents $\lambda/2$. When r is fraction, $r = N/M$, N and M are both prime numbers, the fringe spacing is corresponding to λ/M . It is easy to get $M = 10$ for a long cavity He-Ne laser, the interferometric sensitivity is then 10 times that of $M-Z$ interferometer. This interferometer can be applied to examining of the optical components with high precision and the measurement of low flow field. Some applications are presented in this paper.

Key words: multiple beam interferometer flow field visualization optical component test

三、结 论

1. 深熔激光焊接中焊缝熔深存在着振荡频率约为 30Hz~ 40Hz 的振荡。
2. 用解析法对熔池形状的模拟结果与实验结果基本吻合。

参 考 文 献

1. Schwocker D, Kaplan A. SPIE, 1994; 2207: 236~ 247
2. Carslaw H S, Jaeger J C. Conduction of heat in solids. Oxford University Press 2nd, ISBN0-19-853368-3, Oxford, Great Britain; Oxford Univ. Press, 1959

* * *

作者简介: 骆红, 女, 1966 年出生。讲师。现从事激光焊接质量监控及熔池模拟方面的研究。

收稿日期: 1996-06-05 收到修改稿日期: 1996-09-17

