

文章编号 1000-5013(2000) 03-0243-03

# 激光焊接中金属表面对 $\text{CO}_2$ 激光的吸收特性

陈为忠 庄其仁 张文珍

(华侨大学电气工程与自动化系, 泉州 362011)

**摘要** 利用激光焊接中反射光和散射光的采集接收, 得到金属表面在激光照射不同阶段的吸收特性曲线. 研究激光功率对吸收曲线的影响, 得出激光焊接中激光束极限移动速度的估算方法.

**关键词** 激光焊接, 表面激光吸收, 焊接速度

中图分类号 TQ 052.76

文献标识码 A

$\text{CO}_2$  激光器在激光加工中一直处于主导地位, 这主要归因于它的大功率、低造价. 由于  $\text{CO}_2$  激光波长为  $10.6 \mu\text{m}$ , 远远大于金属中电子振动尺寸和晶格振动尺寸, 很难被金属表面直接吸收. 因此激光表面淬火时都要先对金属表面进行黑化处理, 使表面快速形成一个很薄的热层, 大多数关于激光辐照金属表面的研究都将此热层作为热源进行温度场计算<sup>[1~3]</sup>. 对于激光焊接, 由于表面一般不进行黑化处理, 表面吸收激光对不同材料有较大差异. 激光作用区域不只是表面, 还有一定深度. 因此, 激光焊接过程中光吸收是一个复杂的过程, 很难从理论上进行准确计算. 研究激光焊接过程中金属对  $\text{CO}_2$  激光的吸收特性对于建立激光焊接热源模型、指导选择激光功率和焊接速度是很有意义的. 本文通过测定激光散射功率间接研究激光焊接过程中金属对  $\text{CO}_2$  激光的吸收特性.

## 1 原理

激光辐射金属表面时, 一部分被散射, 一部分被吸收. 设表面激光入射功率为  $P_T$ , 散射功率为  $P_R(t)$ , 吸收功率为  $P_S(t)$ , 则有

$$P_T = P_R(t) + P_S(t). \quad (1)$$

用  $P_T$  去除式(1)的两端, 可以得到  $1 = P_R(t)/P_T + P_S(t)/P_T$ . 令  $P_R(t)/P_T = R(t)$ ,  $P_S(t)/P_T = \epsilon(t)$ , 则

$$\epsilon(t) = 1 - R(t), \quad (2)$$

其中  $\epsilon(t)$  为材料的发射率(或材料吸收入射光强的吸收比),  $R(t)$  为反射率. 一般情况,  $\epsilon(t)$  随着波长  $\lambda$  和温度  $T$  的改变而改变. 对于  $\text{CO}_2$  激光, 其波长为  $10.6 \mu\text{m}$ , 所以式(2)应写成

收稿日期 1999-03-10

作者简介 陈为忠(1971-), 男, 助教

基金项目 福建省自然科学基金资助项目

$$\epsilon(t, T) = 1 - R(t, T). \quad (3)$$

理论上, 对于  $\text{CO}_2$  激光, 发射率可由下式计算<sup>[5]</sup>, 即

$$\epsilon(T) = 11.2[r_{20}(1 + \gamma T)]^{1/2} - 62.9[r_{20}(1 + \gamma T)] + 174[r_{20}(1 + \gamma T)]^{3/2}. \quad (4)$$

在式(4)中,  $r_{20}$ 为 20℃ 时金属的电阻率,  $\gamma$ 为电阻率随温度的变化系数. 但是, 温度从室温上升到熔点, 又从熔点上升到气化温度的整个过程中,  $\gamma$ 不是恒定值. 因此, 式(4)不能直接用于激光焊接过程的吸收计算. 对于金属在室温至沸点范围内, 其电导率随温度变化而急剧变化. 这种变化是很复杂的, 目前在理论上还难于得到满意的结论. 因此只能通过实验测试曲线作一些定性分析.

因式(3)是由式(1)变换而得的, 所以根据式(1), 只要测量散射功率  $P_R(t)$  随时间的变化规律, 即可算出吸收功率和吸收系数随时间的变化规律. 测量散射功率可采用多路接收采集方法<sup>[6]</sup>, 也可以采用全积分散射接收. 后者更为简单准确. 其光路原理图如图 1 所示.  $\text{CO}_2$  激光束射到金属表面, 散射辐射由半球面反射镜收集聚焦于探测器  $D_1$ . 为了消除背景干扰, 在激光束中加入脉冲调制器. 激光散射功率的表达式为

$$P_R(t) = \beta P_{D_1}(t), \quad (5)$$

其中  $\beta$  为散射光功率修正因子.

金属表面在激光开始照射时反射比很高, 所以接收器前要加衰减器. 调制器的结构是两根匀速旋转的挡光条, 这样在接收端得到的是周期的负脉冲. 负脉冲的幅度代表着反射和散射的激光功率. 在接收端采用同步接收的方法, 将金属本身由高温引起的二次光辐射隔离开.

## 2 实验结果

实验采用低阶模  $\text{CO}_2$  激光器(功率为 450 W), 和 GaAs 聚焦透镜(焦距为 100 mm). 实验材料为 1mm 厚的镀锌板和钢板. 图2为 350W 激光照射上述两种金属表面的吸收特性曲线.

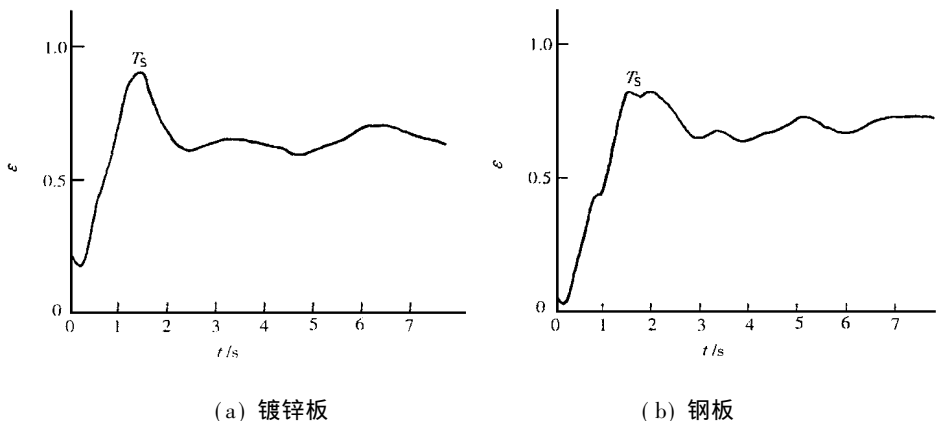


图 2 镀锌板和钢板的  $\text{CO}_2$  激光吸收曲线

由图 2 看出, 金属表面对激光的吸收随时间的变化趋势基本相同. 发射率先经过一个短暂的慢变阶段, 随后急剧上升. 当达到一定时间后, 发射率几乎为常数. 曲线的另一特点是有

一个吸收峰. 对于镀锌板, 其吸收峰在  $t = 1\text{ s}$  处, 而钢板的吸收峰在  $t = 1.6\text{ s}$  处. 吸收峰的位置表示金属达到熔化温度所需的时间.

图3吸收峰值位置  $T_s$  随激光功率变化的特性曲线. 随着激光功率的提高, 吸收峰向左移动. 由于吸收峰的位置表示达到金属熔化温度的时间, 所以当激光束移动速度  $v$  与  $T_s$  的乘积大于激光聚焦直径  $D$  时, 金属将达不到熔化温度. 由此可得激光束极限移动速度为

$$v_{\max} = D / T_s. \quad (6)$$

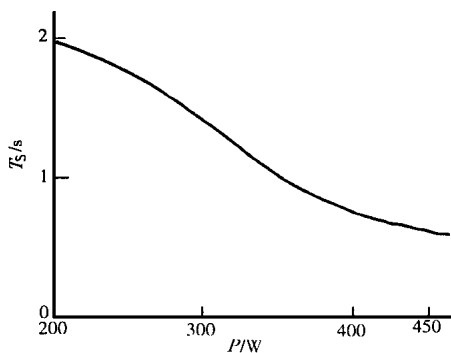


图3 吸收峰位置与激光功率的关系

### 3 结论

激光照射金属表面时, 各个阶段的发射率有较大差异. 这种差异在大功率激光加工中只是一瞬间, 往往易被忽视. 而在大多数中低功率激光加工中, 发射率的变化规律对指导工艺参数的确定数仍具有一定意义. 激光束的移动速度满足如下条件时, 即在照射时间内激光照射部位达到最大发射率, 即可使激光得到最佳吸收. 发射率随激光照射时间的变化情况还与材料厚度、导热系数和热扩散系数等有关. 所以, 不同材料的发射率变化曲线不同, 但变化趋势是一致的.

### 参 考 文 献

- 1 李俊昌, 陈庆华, Merlin J. 含非完整光束辐照过程的激光热处理瞬态温度场半解析计算[J]. 中国激光, 1998, A 25(8): 753 ~ 758
- 2 郑瑞伦. 激光辐照板材的温升和升温率[J]. 光子学报, 1998, 27(11): 1 028 ~ 1 031
- 3 杨洗陈, 李延民, 黄卫东等. 激光表面熔凝温度场计算[J]. 材料科学与工程, 1999, 17(1): 20 ~ 22
- 4 郑启光, 庄其仁, 张文珍等. 激光与物质相互作用[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1996. 13 ~ 17
- 5 方建成, 王续跃. 脉冲激光加工空间散射能量采集[J]. 光电子激光, 1998, 9(4): 326 ~ 329

## Laser Absorption Characteristic of Metal Surface during CO<sub>2</sub> Laser Welding

Chen Weizhong Zhuang Qiren Zhang Wenzhen

(Dept. of Elec. Eng. & Auto., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

**Abstract** By harvesting reflected light and scattered light during CO<sub>2</sub> laser welding, a characteristic curve is obtained for reflecting laser absorption of metal surface in different phases of laser irradiation. The effect of laser power on absorption curve is studied; and a method is worked out for evaluating ultimate moving speed of laser beam during laser welding.

**Keywords** laser welding, surface laser absorption, welding speed