

文章编号: 1001-3806(2010)04-0517-03

## 大气环境中不同温度下 30CrMnSiA 钢吸收率的点测量

张永强, 王贵兵

(中国工程物理研究院 流体物理研究所, 绵阳 621900)

**摘要:** 为了获取大气环境中 30CrMnSiA 碳钢材料在不同温度时的吸收率, 在积分球绝对测量法的基础上, 采用加热激光(波长为 1064nm)和探测激光(波长为 1319nm)同时作用在材料表面的方法, 得到了探测激光入射角度为 0° 和 30° 时, 30CrMnSiA 碳钢从室温到熔点这一温度范围内吸收率变化曲线, 变化过程分为 4 个阶段, 变化范围从室温环境的 0.4 左右到熔化状态的 0.9 左右。结果表明, 温度是影响 30CrMnSiA 钢材料吸收率的重要因素, 激光入射角度对吸收率无影响。

**关键词:** 激光物理; 吸收率; 温度; 入射角度

**中图分类号:** TN247 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2010.04.023

### Point measurement of absorptivity of 30CrMnSiA steel at different temperature in atmosphere

ZHANG Yong-qiang, WANG Gui-bing

(Institute of Fluid Physics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

**Abstract:** Based on integrating sphere absolute method, temperature-dependent absorptivity of 30CrMnSiA carbon steel was measured with heating laser beam ( $\lambda = 1064\text{nm}$ ) and probing laser beam ( $\lambda = 1319\text{nm}$ ) irradiating on material surface in atmosphere environment at the same time. With the probing laser incident at zero and thirty degrees, the absorptivity of the steel was measured at the temperature range from the room temperature to melting point. It was 0.4 at room temperature and 0.9 at melting point. The results show that temperature has important effect on the absorptivity of 30CrMnSiA carbon steel in atmosphere environment, however the incidence angle hasn't any effect on absorptivity.

**Key words:** laser physics; absorptivity; temperature; irradiation angle

## 引言

激光与材料相互作用首先是从入射激光被材料反射和吸收开始的, 材料对激光的初始吸收率与其入射表面状况、环境温度、激光波长等因素有关。当材料受到激光辐照后, 温度将成为影响其对激光吸收率的重要因素<sup>[1-5]</sup>。激光加工、焊接等领域的数值计算过程中, 材料对激光的吸收率是数值模拟过程中重要输入参量之一<sup>[6-7]</sup>。因此, 获取不同温度下材料对激光的吸收率数据尤为重要。

目前, 常用的测量方法是将被测材料表面, 既对材料进行加热又进行探测<sup>[8-9]</sup>。由于作用在材料表面的激光束具有一定大小, 因此, 测量得到的吸收率是激光辐照区域内的不同温度点对入射激

光吸收率的平均值, 不能真实地反映出材料吸收率随温度的变化。另外, 由于加热材料需要一定功率的激光能量, 故通常只能获取不同温度下材料对某些波长(如波长为 1064nm)激光作用下的吸收率数据, 具有一定的局限性。

本文中在积分球反射率绝对测量法的基础上, 通过加热激光(1064nm)和探测激光(1319nm)共同作用于材料表面的方法, 实现了对材料表面吸收率随温度变化的点测量, 得到了 30CrMnSiA 碳钢从室温到熔化这一过程中材料对连续激光(1319nm)的吸收率变化曲线。

## 1 实验装置

材料对激光的吸收率  $\alpha$  无法直接测量得到, 通常是采用测量其反射率  $R$  和透射率  $T$  (对光具有透射性的材料), 利用  $\alpha = 1 - R - T$  计算获取。30CrMnSiA 碳钢为金属材料, 只需对其反射率进行测量即可。材料的反射率采用积分球绝对法进行测量。实验装置如图 1 所示。

作者简介: 张永强(1981-), 男, 助理研究员, 主要从事激光与物质相互作用研究。

E-mail: zqiang6590@sina.com

收稿日期: 2009-04-10; 收到修改稿日期: 2009-05-05

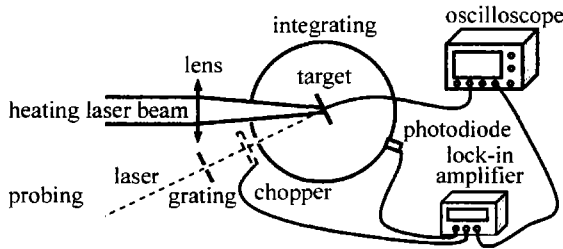


Fig. 1 Sketch of experimental setup

实验中用于材料加热的激光器波长为 1064nm, 探测激光器波长为 1319nm, 两束激光作用于材料表面的光斑直径分别为 5mm 和 1mm; 所用积分球内部涂层为 BaSO<sub>4</sub>, 在 1.0μm ~ 1.5μm 波长范围内其反射率均高于 90%; 所用光电管为钢镓砷光伏型, 为了避免激光辐照过程中杂散光的影响, 在光电管前放置了 1319nm 滤光片进行处理。由于实验中所用探测激光功率较弱 (小于 1W), 进行斩波处理后, 通过锁相放大器-示波器采集系统对探测光信号进行采集、记录。材料的温升历史通过丝径为 0.09mm 的 NiCr-NiAl K 型热电偶进行测量 (该型号热电偶最大准确测量温度 1200℃)。

根据积分球绝对测量法的要求, 实验前对实验条件下的光电管测试系统进行了线性区域的标定。标定结果如图 2 所示。

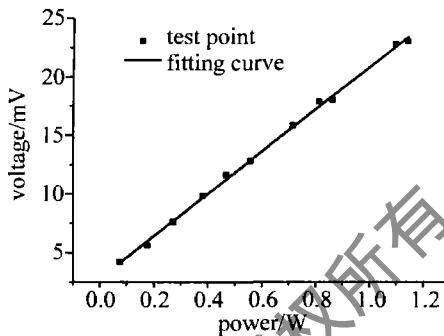


Fig. 2 Calibration curve of photodiode linearity working range

从图 2 中可以看出, 实验过程中的光电管处于线性区域工作范围, 满足积分球绝对测量法的要求。

## 2 测量方法可靠性验证

以铝 (表面进行了略微抛光处理) 为对象对该测量方法的可靠性进行了验证。铝材料尺寸为  $\varnothing 10\text{mm} \times 0.5\text{mm}$ 。测量得到铝的吸收率随温度变化曲线如图 3 所示。

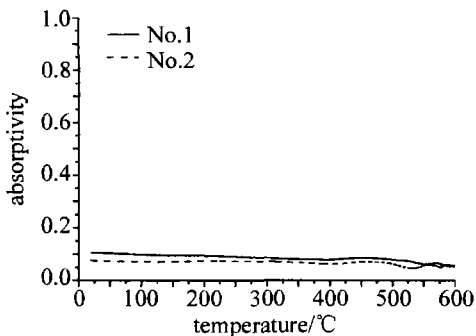


Fig. 3 Absorptivity vs. temperature of Al

从图 3 中可以看出, 在室温到 600℃ 这一范围内铝的吸收率变化不大, 其值在 0.07 ~ 0.1 之间, 这与参考文献 [10] 中的实验结果相吻合, 因此, 该测量方法具有较好的测量精度, 且重复性较好。

## 3 实验结果与讨论

实验中所用 30CrMnSiA 钢材料的尺寸为  $\varnothing 20\text{mm} \times 0.5\text{mm}$ , 激光入射功率为 130W, 辐照时间 40s。实验中, 探测光测量点和热电偶测量点分别为前后表面中心位置。探测激光与靶材料垂直入射时, 测量得到的探测点处吸收率和后表面中心处温度随时间变化曲线如图 4 所示。激光辐照后材料前后表面的热烧蚀形貌如图 5 所示。结合温度曲线和材料在激光辐照后的前后表面形貌可以看出, 材料在激光辐照过程中就已达其熔点温度 (1600℃)。

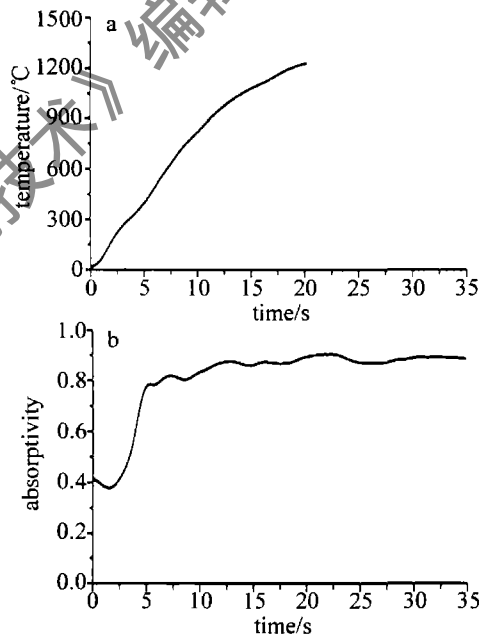


Fig. 4 Absorptivity and temperature curve

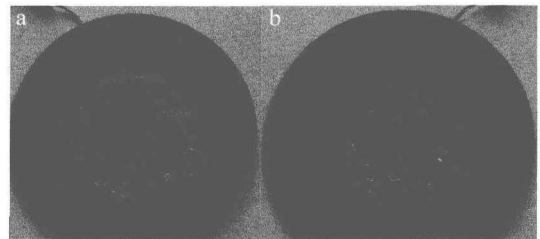


Fig. 5 Front and rear pattern after laser irradiation

a—front b—rear

实验中由于激光辐照时间较长, 材料厚度较薄, 其热扩散率与辐照时间的乘积远远大于材料厚度的平方, 而此条件下激光加热材料其前后表面中心位置处的温度相差较小<sup>[1]</sup>, 故前表面探测光测量点处的温度历史可用与之相对应的后表面中心点处温度历史替代。因此, 30CrMnSiA 钢不同温度下对 1319nm 激光的

吸收率变化曲线如图6所示。

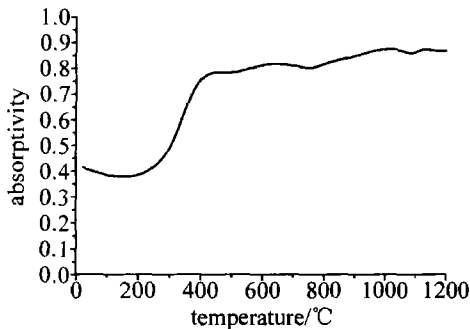


Fig. 6 Absorptivity vs. temperature of 30CrMnSiA carbon steel

由于所用热电偶的最大准确测量温度为1200℃,结合图4~图6分析可以认为,30CrMnSiA钢的吸收率变化分为4个阶段。第1阶段,室温到200℃这一范围内,吸收率缓慢减小,从0.4变化到0.38,其原因是由于激光作用在材料表面对其有净化效果,使得表面变得光洁,反射率略微变大所致;第2阶段,200℃~400℃这一范围内,材料吸收率迅速增大,从0.38变化到0.78,其原因是由于材料表面发生氧化反应形成如FeO等氧化物所致<sup>[11-14]</sup>;第3阶段,从400℃~1200℃,吸收率继续缓慢增大,从0.78变化到0.9;第4阶段,从1200℃到材料熔点温度这一范围,吸收率变化不大,维持在0.9左右。

为比较不同入射角度时吸收率随温度的变化情况,对仅探测激光作用下入射角度为0°,10°和30°时的初始吸收率和与之对应的后表面中心点温度历史,以及探测激光入射角度为0°和30°时,不同温度下材料的吸收率进行了测量计算,分别如图7和图8所示。

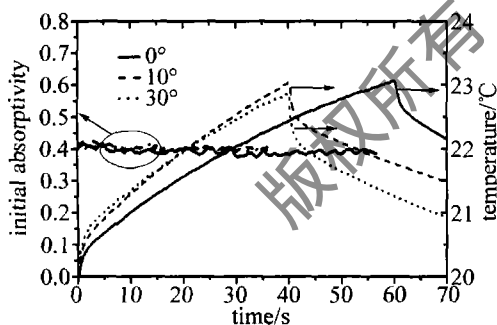


Fig. 7 Initial absorptivity and temperature history in different irradiation angles

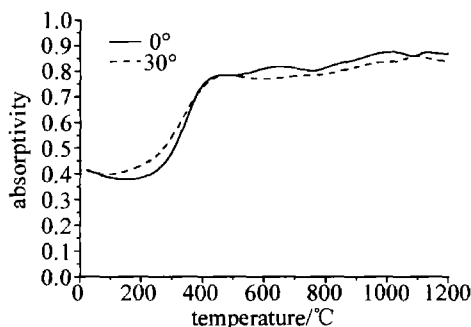


Fig. 8 Absorptivity curve vs. temperature in different irradiation angles

从图7中可以看出,激光入射角度分别为0°,10°和30°时,30CrMnSiA钢的初始吸收率无明显差别。从图8中可以看出,在0°和30°入射条件下,30CrMnSiA钢吸收率随温度的变化趋势较为一致。这表明,在激光辐照过程中,温度是影响30CrMnSiA钢材料吸收率的重要因素,入射角度基本对其无影响。

## 4 结论

(1)该测量方法测量精度较高,重复性好,可满足不同温度下材料对不同波长激光的吸收率测量;(2)大气环境中温度对30CrMnSiA钢的吸收率影响较大,其变化范围从室温环境的0.4到熔点的0.9;(3)在0°~30°范围内,入射角度对30CrMnSiA钢的初始吸收率无影响。

## 参考文献

- [1] SUN C W, LU Q Sh, FAN Zh X, *et al.* The effect of laser radiation[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2002: 65-68 (in Chinese).
- [2] RAMANATHAN S, MODEST M F. Measurement of temperatures and absorptances for laser processing application[J]. Proc SPIE, 1993, 2306: 30-40.
- [3] BARTL J, BARANEK M. Emissivity of aluminium and its importance for radiometric measurement[J]. Measurement Science Review, 2004, 4(3): 31-36.
- [4] MCKAY J A, RAYNE J A. Temperature dependence of the infrared absorptivity of the noble metals[J]. Phys Rev, 1976, B13(2): 673-685.
- [5] FRIEDRICH D, SHEN J L. Energy coupling efficiency in laser surface treatment[J]. The Iron and Steel Institute of Japan, 1993, 33(9): 925-933.
- [6] HU Z R, ZHOU J Zh, GUO H F, *et al.* Simulation of temperature field of laser welding by ABAQUS[J]. Laser Technology, 2007, 31(3): 326-329 (in Chinese).
- [7] YANG Y L, SUN F J, ZHANG D. Laser nitridation technics and the mathematical simulation of laser temperature field on the surface of Ti in atmospheric ambient[J]. Laser Technology, 2005, 29(2): 201-204 (in Chinese).
- [8] WANG G B, LUO F, LIU C L. Reflectance change of 45# steel irradiated by laser in atmosphere[J]. Laser and Particle Beams, 2006, 18(2): 181-183 (in Chinese).
- [9] LIN X Ch, SHAO T M. Lumped method for the measurement of laser absorptance of materials[J]. Acta Physics Sinica, 2001, 50(5): 856-859 (in Chinese).
- [10] ZHANG K X, LIU C L, ZHANG N, *et al.* Investigation to thermal coupling effect of LF 6M aluminium alloy irradiated by CW/COIL[J]. Laser and Particle Beams, 1994, 6(4): 181-183 (in Chinese).
- [11] WAUTELET M. Laser-assisted reaction of metals with oxygen[J]. Appl Phys, 1990, A50(2): 131-139.
- [12] PEREIRA A, DELAPORTE, SENTIS P M, *et al.* Laser treatment of a steel surface in ambient air[J]. Thin Solid Films, 2004, 453/454: 16-21.
- [13] ANTONOV V, IORDANOVA I, GURKOVSKY S. Investigation of surface oxidation of low sheet steel during its treatment with Nd:glass pulsed laser[J]. Surface and Coatings Technology, 2002, 160(1): 44-53.
- [14] WANG J T, WENG Ch I, CHANG J H. The influence of temperature and surface conditions on surface absorptivity in laser surface treatment[J]. J A P, 2000, 87(7): 3245-3253.