

金属材料对连续波红外激光的热耦合系数

陈金宝 张正文 赵伊君

(国防科技大学应用物理系,长沙,410073)

摘要: 我们采用自行设计研制的积分球,测量了几种不同表面状况的 LY12 铝合金靶对 CW CO₂ 激光(功率 40W 左右)的热耦合系数。与理想条件下的经典理论值相比,热耦合系数的测量值偏大,文中对此进行了分析。结果表明,材料的表面缺陷将增强对入射激光的热耦合。

关键词: 热耦合系数 积分球 LY12 铝合金靶 CW CO₂ 激光

Thermal coupling coefficient of metal material to CW IR laser

Chen Jinbao, Zhang Zhenwen, Zhao Yijun

(Dept. of Appl. Phys., National University of Defense Technology, Changsha, 410073)

Abstract: Using an integrating sphere designed by ourselves, we measured the thermal coupling coefficients of several kinds of LY12 Al alloy targets having different surface situations to CW CO₂ laser beam (the power is about 40W). The experiment results show the fact that the test values are bigger than the calculation values by the classical theory. This paper presented the analysis to the fact, and points out the surface defects will much increase the thermal coupling coefficient.

Key words: thermal coupling coefficient integrating sphere LY12 Al alloy CW CO₂ laser

一、引 言

激光辐照不透明靶,热耦合系数表示激光束能量转化为靶的热能的分数,在熔融状态前,可用 $1-R$ 表示, R 为靶对激光的表面反射系数。材料对激光的热耦合系数依赖于激光参数(功率、脉宽等)、材料特性(热物性、表面状况等)及环境等因素,是几种机制综合作用的结果,对此问题的严格量子理论计算相当复杂。目前,关于热耦合系数的计算还局限于经典理论阶段,并且假定满足一定的理想条件,当然这与实际情况往往相差甚远。由此来解释实验现象时也常存在比较大的偏差,所以需要发展实时测量热耦合系数的实验技术。

热耦合系数可通过测量 R 而得到。金属材料大都是良导体,在我们感兴趣的红外波段,其常温下的热耦合系数很小,而且对非镜面平面靶,在激光入射的半空间都有反射激光分布,这给实验测量带来一定的难度。我们选用工业上应用最广泛的 LY12 铝合金为靶材,利用积分球技术测量了连续波 CO₂ 激光入射时的热耦合系数。

二、热耦合系数的理论计算

经典电磁理论指出,理想条件下(a. 材料表面是光滑的; b. 激光垂直入射),纯金属靶对红外激光的热耦合系数 Ξ 为^[1]

$$\Xi = \sqrt{(2\rho)/(15\lambda)} - \rho/(15\lambda) + [\rho/(30\lambda)]^{3/2} \quad (1)$$

式中,单位使用 SI 制, ρ 为金属的直流电阻率, λ 为入射激光波长, (1) 式也适用于部分有序合金。实际计算时,由于 $\rho/\lambda \ll 1$, 所以只取(1)式中的第一项,即得近似式

$$\Xi = \sqrt{(2\rho)/(15\lambda)} \quad (2)$$

用实验测得了 LY12 铝合金 ρ 随温度 T 变化的经验公式为

$$\rho_T = 4.91(1 + 0.00225T) \times 10^{-8} \Omega \cdot m \quad (3)$$

T 的单位用 $^{\circ}\text{C}$, 由此, 我们得到理想条件下, LY12 铝合金对红外激光的热耦合系数为

$$\Xi_T = 8.083 \times 10^{-5} \sqrt{(1 + 0.00225T)/\lambda} \quad (4)$$

三、积分球的理论^[3]和设计

非镜面平面靶在激光入射半空间均有反射光分布, 而一般探测器的接收面积都有限, 可以用积分球收集散射光部分, 以保证测量的准确性。如图 1, 积分球内半径为 r , 内壁反射率为 R_w , 光通量为 F 的激光入射至 N 处, 在内壁任意 M 处产生的照度 E 为

$$E = R_w / (1 - R_w) \cdot (F/S) \quad (5)$$

$$S = 4\pi \cdot r^2 \quad (6)$$

对定向反射靶材, 探测孔安排在靶材定向散射光不能直接辐照的地方, 若定向散射靶材的反射率为 R_s , 那么当入射激光功率为 F_1 时, 在 M 处产生的照度 E_1 为

$$E_1 = R_w / (1 - R_w) \cdot (R_s \cdot F_1 / S) \quad (7)$$

由此得到

$$R_s = (E_1 \cdot F) / (E \cdot F_1) \quad (8)$$

对漫反射靶材, 若漫反射靶材反射率为 R_D , 则入射激光功率为 F_2 时, 在 M 处产生的照度 E_2 为

$$E_2 = R_D / (1 - R_w) \cdot (F_2 / S) \quad (9)$$

由此得到

$$R_D = (E_2 / E) \cdot (F / F_2) \cdot R_w \quad (10)$$

由于当积分球上开孔面积之和远小于积分球内表面积时, 开孔带来的影响可忽略^[4], 所以 (8), (10) 两式是很好的近似式。

我们设计的积分球球腔用碳钢制成, 内表面镀一层厚度 0.8mm~1mm, 粒度-200~+270目的青铜粉作为漫反射层。此积分球适用于波长为 $2\mu\text{m}$ ~ $50\mu\text{m}$ 的强激光测量。

四、热耦合系数的测量及分析

测量热耦合系数的实验装置如图 2, 入射激光波长为 $10.6\mu\text{m}$, 功率约 40W, 靶材为 LY12 铝合金靶, 其表面状况有如下几种: 0[#] 抛光靶: 表面抛光成光滑面; 1[#] 自然靶: 表面未经任何处理, 即商品表面; 2[#] 打毛靶: 表面用砂布均匀打毛; 3. 氧化靶: 表面经阳极氧化, 着色后分 3[#] 本色、4[#] 黄色、5[#] 黑色三种, 氧化层厚度分别约为 $15\mu\text{m}$, $20\mu\text{m}$, $25\mu\text{m}$ 。

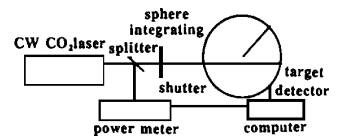


Fig. 2 Experimental set-up

常温下, 不同表面的 LY12 铝合金靶材对 CW CO_2 激光的热耦合系数测量结果见附表。

表中数据为十次测量的平均值和标准偏差。理想条件下, 由 (4) 式计算出 LY12 铝合金靶在 T 为 20°C 时对 CO_2 激光的热耦合系数为 0.03, 略小于我们对 0[#] 靶材的测量值, 这说明利用此积分球测量热耦合系数是可行的, 测量值与理论值的差别一方面是因为我们所用的靶材久置于空气中, 表面具有自然氧化层, 另一方面是由于测量仪器性能不够完善。从附表中数据

复杂表面散射对干涉图对比度的影响及对干涉图的处理

姜铃珍 战德臣* 李成江

(哈尔滨工业大学应用物理系,* 计算机系, 哈尔滨, 150001)

摘要: 以带有焊点的印刷电路板形成的干涉图为例, 讨论了复杂物体表面的散射对干涉图对比度的影响, 提出了处理复杂干涉图的简单方法。

关键词: 全息干涉计量 图象处理 干涉图

Influence of surface scattering of complicated object on holographic interferogram visibility and its process technique

Jiang Lingzhen, Zhan Decheng*, Li Chengjiang

(Department of Physics,* Computer Application, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150001)

Abstract: In general, the surface scattering will influence on the visibility of the holographic interferogram. Some times, the influence is so serious that it is almost not possible to recognize the object displayed in interferogram. As well as a complicated object, the visibility of the holographic interferograms of the printed circuit board have be getting lower by the scattering of the surface and solder joints. This paper presented a fringe detection method in a slide windows to reconstruct the interferogram fringe. With the method, it is possible correctly to decide the location of the solder joints.

Key words: holographic interferometry image processing interference patterns

还可以看出, 靶材表面经打毛或阳极氧化后, 热耦合系数将大大增加, 由此可见, 同种材料的LY12 铝合金靶, 其表面特性(尤其是表面粗糙度和表面薄膜)不同, 对入射激光的热耦合系数也有很大差异, 靶材表面缺陷将大大增强对入射激光的热耦合。

Table Thermal coupling coefficient Ξ of LY12 Al alloy under different surface condition

target	0#	1#	2#	3#	4#	5#
Ξ	0.04 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.32 ± 0.03	0.68 ± 0.02	0.90 ± 0.01	0.93 ± 0.03

本文的工作只是初步的, 若进一步改善实验条件, 可以测得金属材料对连续波红外激光热耦合系数随温度的变化, 这将更加有助于研究激光与材料的相互作用。

参 考 文 献

1 Betolotti M. Physical processes in laser-Materials interactions. New York: Plenum, 1983: 49

2 Witing T J, Schriempf J T. J A P, 1976; 47: 4009

3 孙凤国, 张正文, 赵伊君. 用于测量强激光反射系数的积分球设计. 第三届激光的热与光学效应论文集. 长沙: 国防科技大学出版社, 1993: 619

4 陈金宝, 陆启生, 蒋志平 *et al.* 应用激光, 1995; 15(4): 167

* * *

作者简介: 陈金宝, 男, 1970年6月出生。博士研究生。现从事化学激光器方面的工作。