

激光加工·

激光点热源作用下试件内部热传导的实验研究^{**}王秀凤^{1**}, 胡世光¹, 陈光南², Janos Takacs³, Gyorgy Krallics³(1. 北京航空航天大学机械学院, 北京 100083; 2. 中国科学院力学所材料工艺研究中心, 北京 100080;
3. Budapest University of Technology and Economics, Hungary H-1502)

摘要:通过红外热像仪测温装置,对有限厚度试件在激光点热源作用下热作用区侧面温度分布进行实时测量。结果表明:对于小厚度的试件,材料内部温度分布与用傅立叶定律得到的结果完全相反,材料内部的温度高于边界温度。对比短脉冲激光作用下产生非傅立叶效应的条件,它们之间有很大差异,由此提出将实验中出现的非常规现象定义为泛傅立叶效应,认为它是由于热量传播到边界时发生反射、叠加等波动行为所致。

关键词:激光点热源; 温度分布; 泛傅立叶效应

中图分类号: TN249 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-0086(2004)02-0226-04

Experimental Investigation of Heat Transfer in the Limit Thickness Samples Under Laser Point Source Irradiation

WANG Xiu-feng^{1**}, HU Shi-guang¹, CHEN Guang-nan², Janos Takacs³, Gyorgy Krallics³

(1. Faculty of Mechanical Engineering and Automation, BUAA, Beijing, 100084, China; 2. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Science, Beijing 100080, China; 3. Budapest University of Technology and Economics, H-1502, Hungary.)

Abstract: The temperature distribution of the limit thickness specimen on the lateral area of the heated region under laser point source irradiation was measured with the thermovision infrared system. Experimental results is contrary to the results calculated by Fourier law. Inner temperature of the specimen is higher than boundary temperature. There is a world of difference compared with the condition of non-Fourier effect produced by short pulse laser irradiation. As a result, the non-normal phenomenon is defined as par-Fourier effect. It is caused by wave behavior such as reflection and overlap when heat transfers to boundary of the specimen.

Key words: laser point source; temperature field; par-Fourier effect

1 引言

薄板激光弯曲是激光非熔凝加工中新的应用领域之一^[1]。激光弯曲具有将薄板无模成形的特点,不仅适合于单件、小批量工件的折弯成形,而且适合于一些形状特殊或尺度微小、难以采用其它加工方法加工的简单工件的折弯成形及形状复杂、贴模性差的大型工件的精确校形^[2]。因此,它在航空航天、仪器仪

表及各种机车车辆的样机生产中,具有很好的应用前景。为了开发应用此项技术,许多学者在激光弯曲的变形机理、工艺过程及过程的数值模拟等方面做了大量的研究工作^[3~9]。但是,由于缺乏薄板激光弯曲机理的深入研究,变形的大小和方向不能准确控制,限制了该技术的实际应用。

我们利用国外先进的激光设备及红外热像仪测

* 收稿日期:2003-05-07 修订日期:2003-06-27

* 基金项目:国家自然科学基金资助项目(59836220);航空基础科学基金资助项目(98H51110)

** E-mail: wangxiufeng@bnaa.edu.cn

温装置,对激光点热源作用下,有限厚度材料内部产生的温度分布进行了实时测量。试验发现,对于大厚度的试件,材料内部温度分布图像与用傅立叶定律得到的结果相符合,即沿着薄板厚度方向温度分布由表及里逐步降低;随着厚度的减小,在薄试件内出现了非常规现象,材料内部温度高于边界温度,且温度分布图像与用傅立叶定律得到的结果完全相反。试验中出现的非常规现象,很难用傅立叶定律得到合理的解释。虽已有文献描述激光加热的非傅立叶效应以及由此导致的反常温度分布^[10],但一般认为只有当热作用时间极短,小于或等于热松弛时间时才会发生该现象。显然产生非傅立叶效应的定义域非常狭窄,与我们观察到的非常规现象的条件有很大差异,所以我们将该现象定义为泛傅立叶效应。认为它是由于热量传播到边界时发生反射、叠加等波动行为所致^[11]。希望新概念的提出得到更多学者的关注与思考,共同探讨由新现象引发的诸多科学问题。

2 试验

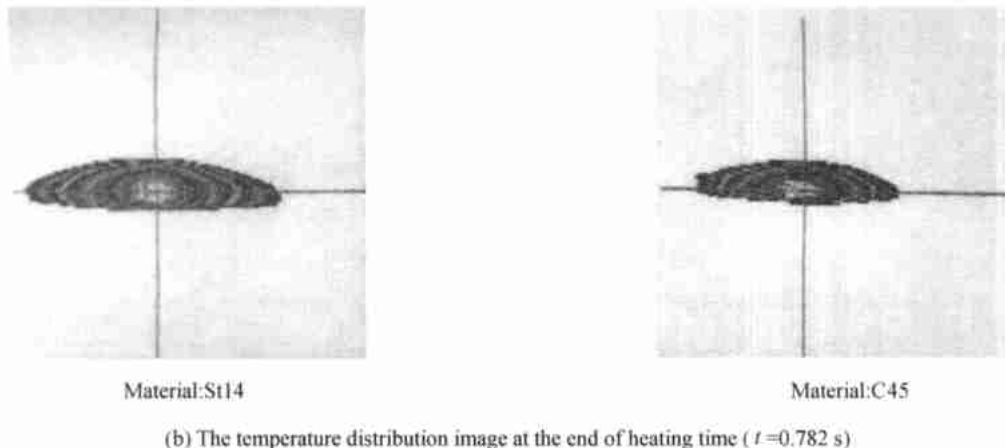
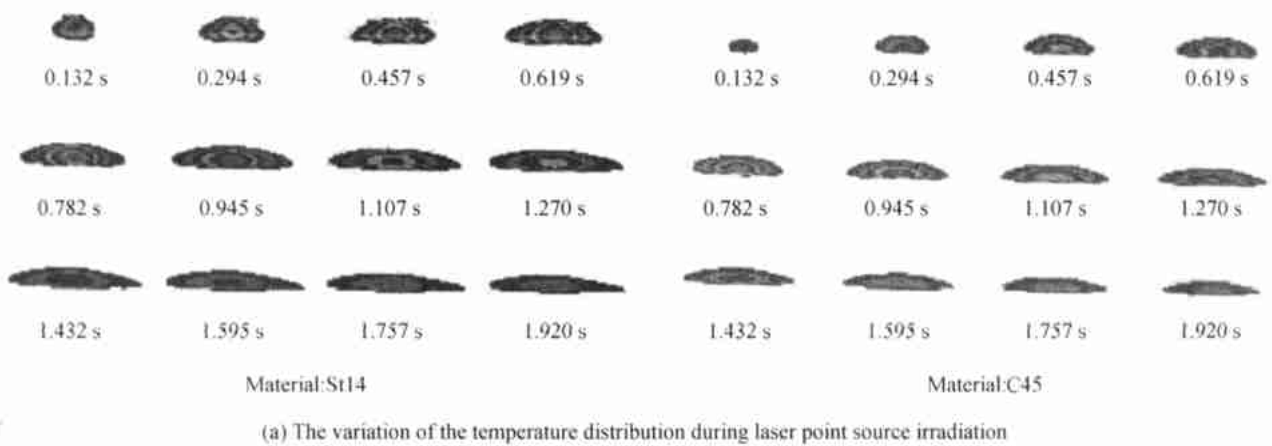
试验在匈牙利布达佩斯技术与经济大学机械工程系激光实验室进行。试验设备选用型号为 OER-

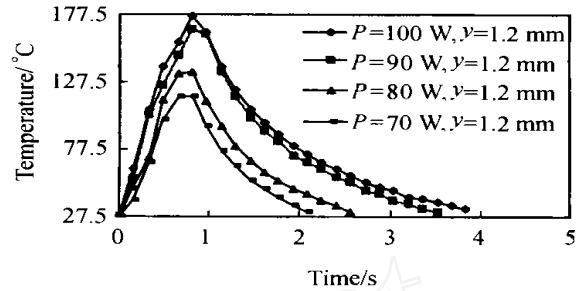
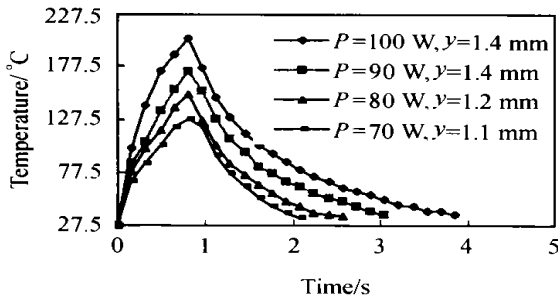
LIKONOL 1800 的连续输出式 CO₂ 激光器,光斑直径可调范围 0.2 ~ 11.0 mm;输出功率 0 ~ 1800 W 连续可调,功率密度分布服从基模高斯分布。红外热像仪型号为 THERMOVISION 880 LWB,测量温度范围为 -20 ~ 1500 °C,最小温度分辨率可达 0.07 °C,图像频率为 25 Hz,线频率为 2500 Hz,液氮冷却。试件选用 St14(100 mm × 2 mm,厚度为 2.0 mm、1.5 mm 和 1.0 mm)和 C45(100 mm × 2 mm,厚度为 2 mm、5 mm 和 10 mm)。试件一端被夹持在工作台上成为悬臂梁,激光照射在试件的中点,输出功率分别为 100 W、90 W、80 W 和 70 W,连续照射时间为 0.782 s,光斑直径为 2 mm。试件被照射表面涂石墨以提高材料对激光的吸收率,用红外热像仪记录试件在热作用区侧面的温度分布随时间的变化图像,通过计算机显示其记录的图像及相关的数据。

3 试验的结果与分析

在激光点热源加热和冷却过程中,试件在热作用区侧面温度分布测量结果如图 1 所示。

图 1(a) 和 (b) 中的图像与常规热传导方程得出的结果相反,且温度最高点不在试件的表面,这是由





(c) The variation of maximum temperature versus time on the lateral area of the heated region

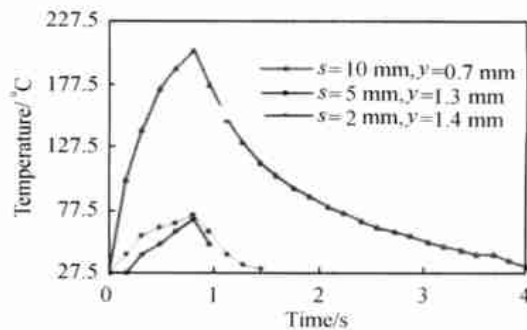
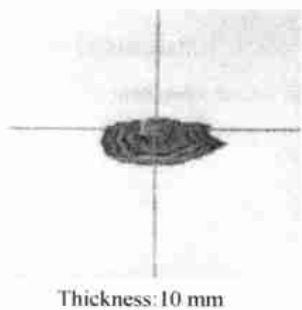
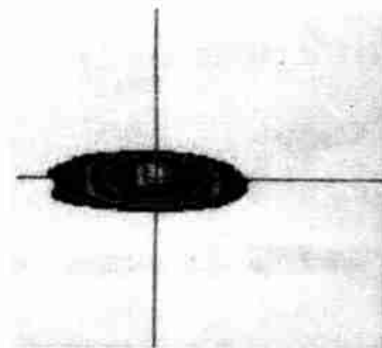
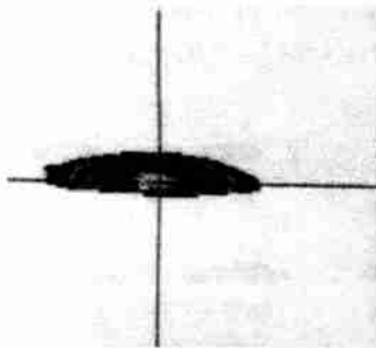
图1 试件在热作用区侧面温度的测量结果

Fig.1 Temperature measured results on the lateral area of the heated region

于热量向试件内部传播会受到有限厚度边界的影响, 及试件的表面与周围空气进行热量交换所致, 它们迭加的结果使得温度分布出现非常规现象, 温度最高点的位置在试件的内部。(c)中 y 值表示温度最高点距上表面的距离, 试件吸收的能量越多, 最高点温度越高, y 值越大。这是因为试件吸收的能量越多, 经试件内部传播的热量越多, 使得试件下表面的温度越

高, 有限厚度边界的影响使得传播到下表面的热量会发生反射, 在材料内部产生叠加造成材料最高点温度的位置距上表面越远。

影响最高点温度的大小及位置的主要因素还有试件的厚度及材料的种类, 测量结果如图2、图3所示。



(Material:45; Laser power: 100 W)

图2 试件厚度对测量温度的影响

Fig.2 The influence of the sample thickness on temperature measured

图2表明, 试件越厚, 热作用区侧面温度最高点的值越小, 位置离试件上表面越近。这是因为试件越

厚, 有限厚度边界的影响越小, 热量反射后迭加的效果越不显著所造成的。试验结果预示, 当试件的厚度

达到一定时,由于有限厚度边界的影响减为零,热作用区侧面温度分布图像将与用常规热传导方程——傅立叶定律得出的图像相一致,热量在材料内部的传递是纯粹的扩散行为;只有当试件厚度较薄,具有有限厚度边界的影响时,热量的传递才认为是具有不同于扩散行为的波动行为——泛傅立叶效应。

图3表明,材料的含C量越高,热作用区侧面温度最高点的值越小,且位置离试件上表面越近。这是因为材料含C量越高,在加热过程中组织发生奥氏体转变时所吸收的热量越多,造成热作用区侧面温度最高点的值降低,传播到试件下表面的能量减少,反射后迭加的效果使得温度最高点的位置离试件上表面越近。

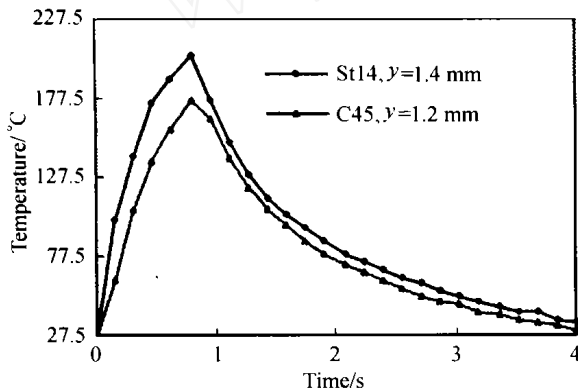


图3 不同材料对测量温度的影响

Fig.3 The influence of the sample material on temperature measured

4 结论

1) 试件在冷却过程中,热量的传播是一个逐渐衰减的过程。有限厚度的薄板,其内部的温度大于边界温度。这一现象表明,热量在试件内的传递因反射波的影响,具有与入射波叠加的扩散波动行为——泛傅立叶效应。

2) 影响泛傅立叶效应的主要因素是试件的厚度及材料的种类。试验结果表明,试件的厚度越薄,含C量越低,泛傅立叶效应越显著。

参 考 文 献:

[1] Namba Y. Laser forming in space [A]. In: Wang C P, ed. Int. Conf. on Laser '85 [C]. 1986. 403-407.

- [2] Geiger M, Vollertsen F. Flexible straightening of car body shells by laser forming [A]. SAE Paper no. 930279 [C]. 1993, 354-361.
- [3] Vollertsen F. Mechanisms and models for laser forming [A]. In: Geiger M, Vollertsen F, eds. Proceedings of the LANE 94 [C]. Bamberg: Meisenback, 1994. 345-359.
- [4] An K Kyrsanidi, et al. An analytical model for the prediction of distortions caused by the laser forming process [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2000, **104**: 94-102.
- [5] P J Cheng, S C Lin. An analytical model for the temperature field in the laser forming of sheet metal [J]. Journal of Material Processing Technology, 2000, **101**: 261-267.
- [6] Wu Shichun, Zheng Jinsong. An experimental study of laser bending for sheet metal [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2001, **110**: 160-163.
- [7] Chen Yanbin, Li Liqun, Lin Shangyang. The FEM simulation of the temperature field in laser forming [J]. Applied Laser, 2001, (2): 18-40.
- [8] X F Wang, Janos Takacs, Gyorgy Krallics, et al. Research on the thermo-physical process of laser bending [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002, **127**: 388-391.
- [9] WANG Yang, TAN Jian-guo, YANG Li-jun. The Experimental Study on Laser Bending of Sheet Metals [J]. Journal of Optoelectronics · Laser (光电子·激光), 2003, **14**(4): 415-418. (in Chinese)
- [10] Cui Xiaoming, Liu Dengying, Huai Xulan. Numerical simulation of temperature profiles in finite thickness materials using different heat conduction model [J]. Journal of Harbin Engineering University, 2000, (10): 36-41.
- [11] Wang Xiufeng. Application of laser non-melting processing technology in the sheet metal forming [D]. Beijing: School of Mechanical Engineering and Automation, BUAA, 2003.

作者简介:

王秀凤 (1963 -), 女, 博士, 副教授, 主要从事塑性成形工艺、激光加工及其计算机应用方面的研究。