

材料、机械工程

文章编号: 1000-8608(2007)03-0349-04

热像仪建立覆膜砂 SLS过程激光能量输入模型研究

姚山*, 曾锋, 叶昌科, 麻春英, 金俊泽

(大连理工大学 铸造工程研究中心, 辽宁 大连 116024)

摘要: 利用热像仪,通过计算机自动控制,对覆膜砂选择性激光烧结(SLS)过程的温度场进行了测定和研究,避开了使用传统测温方法的各种干扰及缺点.通过对热像仪测温结果的研究,确定了覆膜砂 SLS成型的合适的工艺参数范围:扫描速度 10 mm/s,激光功率 16~20 W.根据热像仪测温结果,结合 ANSYS数值模拟计算,建立了覆膜砂 SLS过程的激光能量输入模型.该模型考虑了扫描过程中激光与覆膜砂相互作用的因素,用于预测不同的工艺参数对覆膜砂 SLS成型过程的影响,为进一步分析各种成型工艺变化对覆膜砂固结效果的影响,以及激光快速成型工艺的计算机优化奠定了基础.

关键词: 覆膜砂;选择性激光烧结;温度场;激光能量输入模型;热像仪

中图分类号: TG211.2; TP391.9 **文献标识码:** A

0 引言

选择性激光烧结技术(selective laser sintering, SLS)是快速成型技术(rapid prototyping)的一个重要分支,近年来日益成为材料应用与制造领域的研究热点^[1]. SLS技术最早由美国得克萨斯大学奥斯汀分校于20世纪80年代末开发出来^[2],其最大优势在于能将金属粉末、聚合物或覆膜粉末材料直接通过激光选区烧结并层层叠加成型,从而解决一些形状复杂的零部件的工业生产问题^[3-5]. SLS技术与铸造工艺相结合,能快速获得各种形状复杂的铸件原型或铸型,为铸件的快速生产提供可能性^[5-8].目前, SLS技术的一个突出问题是工艺参数较难确定,影响了成型件的精度及强度,激光功率是最重要的参数之一.不同的粉床特性(如比热容、导热率等)及不同的工艺条件(如层厚、扫描速率、扫描间距等)需要不同的激光功率;这些工艺参数直接影响着 SLS成型过程中材料的温度场分布,是影响烧结质量的主要因素^[9].本文通过热像仪测温实验,对激光定点照射及线扫描时所产生的温度场进行研究,分析一定工艺条件下不同激光功率的覆膜砂粉床温度场分布规律;并且引入激光与粉床基体相互作用因子,建立 SLS技术

中的激光能量输入模型,用于计算在一定的粉床特性及工艺条件下覆膜砂表面吸收到的激光功率值.

1 覆膜砂 SLS成型过程的热像仪测温方法

目前聚合物覆膜材料的 SLS温度场测定多采用热电偶方法进行,目的是避免红外测温仪受 CO₂激光反射光束的干扰^[10].然而,热电偶的响应时间慢、装夹困难以及只能测量单点温度等不足也给激光照射聚合物覆膜材料的表面温度场测定带来了较大误差,制约着后续研究工作的进行.

本文通过计算机自动控制激光的启停、遮光板的转动以及热像仪的同步采集,实现激光照射覆膜砂表面温度场的测定,获得完整的温度分布云图及分布曲线.既克服使用热电偶方法的种种不足,又能避开 CO₂激光反射光束对红外测温仪的干扰,降低测量误差.图1为测温实验装置示意图.

红外热像仪的测量误差主要来源于实测物体辐射率与仪器设定值之间的数值差.本文采用覆膜砂恒温加热的方法对所研究覆膜砂的辐射率进行测定,即在高精度的管式炉中将覆膜砂试块

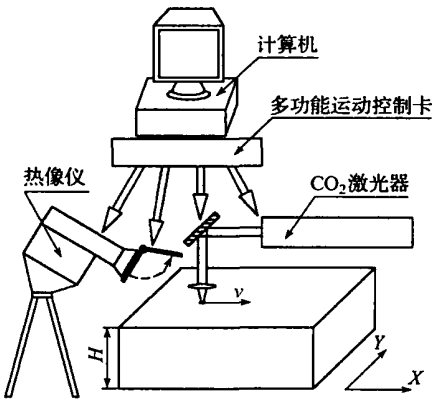


图 1 测温装置示意图

Fig. 1 A sketch of the temperature measuring equipment

分别加热到预先设定的温度并保温,使试块均温,然后用热像仪对试块进行测温,调整热像仪的辐射率设定值,使得热像仪实测温度等于预设的炉温.如此多次改变炉温进行调整验证,并结合文献 [11],得到本文所研究的覆膜砂的辐射率 0.95.不同炉温条件下测量结果的最大相对误差小于 1%.

2 覆膜砂 SLS过程温度场变化的实验研究

采用上述方法测定的激光定点照射覆膜砂表面温度场如图 2 所示.

从图 2 可以看出覆膜砂表面温度随着激光功

率的增大而提高,且温度场分布呈中间高两边低的单波峰正态分布.功率 10 W 时最高温度为 340℃,高温区的覆膜砂颜色呈深褐色;而功率 20 W 时最高温度达到 492℃,高温区的覆膜砂出现了过烧现象.

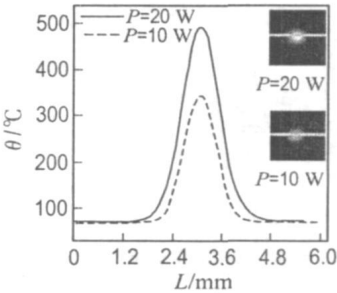
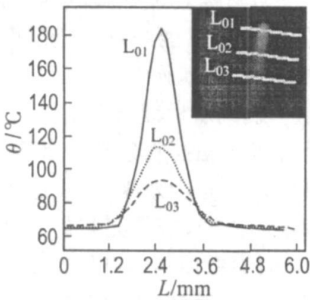


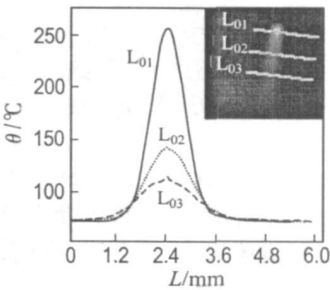
图 2 热像仪拍摄激光照射覆膜砂温度场热图及曲线 ($t = 1\text{ s}$)

Fig. 2 Thermal picture and curve of coated sand illuminated by laser ($t = 1\text{ s}$)

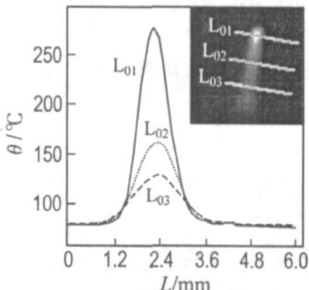
图 3(a)、(b)、(c) 分别为采用 12 16 20 W 激光以 10 mm/s 的速度扫描覆膜砂粉床所获得的温度场.从图中可以看出,扫描时光斑作用区域内的温度场跟定点照射所形成的温度场的分布形状相近.随着光斑移动,激光照射部位的温度迅速降低,但温度分布的形态仍然呈正态分布的特点.由于扫描速率相同,热量传递所经过的时间相同,不同激光功率的瞬间热影响区尺寸大致相同;但热影响区内的温度则随着激光功率的增大而提高.



(a) $P = 12\text{ W}$



(b) $P = 16\text{ W}$



(c) $P = 20\text{ W}$

(线段 L_{01} 、 L_{02} 、 L_{03} 是图中温度曲线 L_{01} 、 L_{02} 、 L_{03} 的实际位置)

图 3 热像仪拍摄激光扫描覆膜砂温度场热图及曲线

Fig. 3 Thermal picture and curve of coated sand scanned by laser

覆膜砂表层膜的开始软化温度一般为 160℃;最佳固结硬化温度为 250~ 280℃;300℃ 以上将发生过烧.本文通过大量的测温实验,研究温度场分布规律,得出:当扫描速度为 10 mm/s,激光功率在 16~ 20 W 时,激光光斑扫描区域内

的覆膜砂温度在 255~ 275℃,呈黄(褐)色固结态;光斑扫描区域外的覆膜砂呈原始松散状态并且由于传热温度升高而有了预热效果,此时的选择性扫描烧结效果最佳.

3 覆膜砂 SLS成型过程激光能量输入模型的建立

根据热像仪测温结果,结合 ANSYS 数值模拟分析,本文建立了激光能量输入模型。

覆膜砂选择性激光烧结采用典型的二氧化碳激光器,其光束为高斯光束,光斑为圆形光斑^[12]。在成型过程中,激光光斑以一定速度 v 相对于覆膜砂粉床运动,激光能量输入的理论模型为^[13]

$$q = \frac{2P}{\pi k^2} \cdot \exp\{-2[(x - vt)^2 + y^2]/k^2\} \quad (1)$$

式中的坐标系为直角坐标系,坐标原点为激光初始入射时的光斑圆心, z 轴为激光传输方向轴, P 为激光功率, k 为激光光斑特征半径, v 为扫描速度。

式 (1) 未考虑实际扫描过程中覆膜砂对激光的吸收率以及在激光加热下砂粒与砂粒之间的相互作用等影响因素。本文引入激光与覆膜砂相互作用因子 λ ,对高斯分布中的波峰高度及波形宽度进行控制:

$$q = \frac{\lambda P}{\pi k^2} \cdot \exp\{-2\lambda[(x - vt)^2 + y^2]/k^2\} \quad (2)$$

式 (2) 即为覆膜砂 SLS成型过程中的激光能量输入模型,利用 ANSYS 有限元模拟软件对激光加热覆膜砂过程进行模拟计算,传热控制方程为

$$d_c \frac{\partial \theta}{\partial t} = K \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + K \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + K \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \quad (3)$$

式中: d 为密度; c_p 为比热容; t 为时间; K 为导热系数。

初始条件为粉床的初始温度均匀分布:

$$\theta|_{t=0} = \theta_0 \quad (4)$$

在一定厚度的粉床底面,热流密度可近似为零,即

$$\left. \frac{\partial \theta}{\partial z} \right|_{z=H} = 0 \quad (5)$$

在 SLS成型过程中,粉床上表面同时存在激光加热热流 q 辐射和对流换热热流,可表示为

$$-K \frac{\partial \theta}{\partial z} \Big|_{z=0} = q - (T_r + h_c)(\theta - \theta_a) \quad (6)$$

式中: θ 为光照后温度; θ_a 为环境温度; T_r 为辐射换热系数; h_c 为对流换热系数; q 为激光输入功率。

大量的 ANSYS 模拟计算结果表明: λ 的取值对模拟计算的温度场结果有着明显的影响。图 4 给出了激光功率 $P = 20 \text{ W}$ 定点照射,照射时间为 1 s , λ 分别为 1.00 1.17 1.25 1.35 时模拟计算的温度曲线结果。从图 4 的模拟结果与图 2 的实验结果对比可以看出:当 $\lambda = 1.17$ 时,覆膜砂温

度场分布与实验结果吻合得很好。

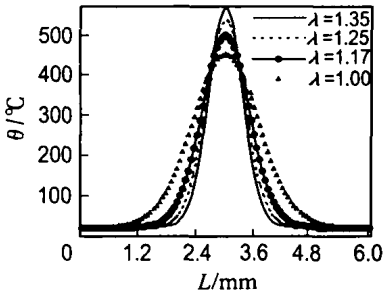


图 4 ANSYS 模拟激光照射覆膜砂温度场曲线

Fig. 4 Curve of coated sand by ANSYS with laser scanning

图 5 是激光功率 $P = 20 \text{ W}$ $v = 10 \text{ mm/s}$, λ 分别为 1.00 1.17 1.25 1.35 时激光扫描覆膜砂的模拟结果;图 6 是相同工艺条件下的热像仪实验照片。由图 5 及图 6 可以看出, $\lambda = 1.17$ 时模拟结果与实验结果吻合得比较好。而在其他激光功率及扫描速度条件下, λ 取 1.17 时的模拟与实测值对比表明:模拟计算结果与实测值的相对误差小于 2.0% ,说明所建立的激光能量输入模型具有比较高的精度。

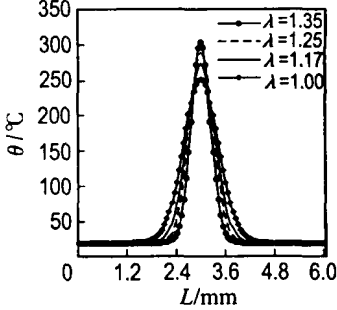


图 5 ANSYS 模拟激光扫描覆膜砂温度场曲线 ($v = 10 \text{ mm/s}$)

Fig. 5 Curve of coated sand by ANSYS with laser scanning ($v = 10 \text{ mm/s}$)

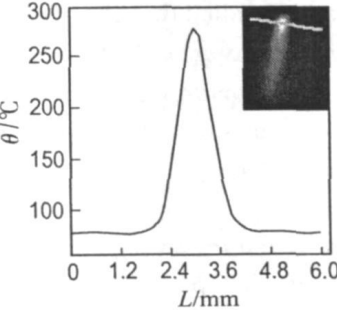


图 6 热像仪拍摄激光扫描覆膜砂温度场热图及曲线

Fig. 6 Thermal picture and curve of coated sand scanned by laser

4 结 语

本文针对传统热电偶测温方法的局限性,设计了一种覆膜砂 SLS 过程表面温度场的热像仪测定方法,测温过程的各个步骤由计算机自动控制,提高了测量效率及稳定性,降低了测量误差,可得到完整的温度场信息。

根据测温结果,分析了一定工艺条件下不同激光功率的覆膜砂粉床温度分布规律,确定了合理的工艺参数取值范围。

根据热像仪测温结果,结合 ANSYS 数值模拟分析,建立了覆膜砂 SLS 过程的激光能量输入模型。该模型为进一步分析各种成型工艺参数变化对覆膜砂热固结的影响,以及快速成型工艺的计算机优化奠定了基础。

参考文献:

- [1] 顾冬冬, 沈以赴, 潘琰峰, 等. 直接金属粉末激光烧结成形机制的研究 [J]. 材料工程, 2004(5): 42-48
- [2] AGARWALA M, BOURELL D, BEAMAN J, *et al.* Direct selective laser sintering of metals [J]. **Rapid Prototyping J**, 1995, 1(1): 26-36
- [3] WILLIAMS J D, DECKARD C R. Advances in modeling the effects of selected parameters on the SLS process [J]. **Rapid Prototyping J**, 1998, 4(2): 90-100

- [4] SIMCHI A, POHL H. Effects of laser sintering processing parameters on the microstructure and densification of iron powder [J]. **Mater and Eng A**, 2003, 359: 119-128
- [5] 张建华. 选择性激光烧结技术应用研究 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2001
- [6] 罗 宁, 吕志刚, 崔旭龙, 等. 快速成形及快速铸造技术 [J]. 铸造技术, 2003, 24(2): 118-119
- [7] 杨世洲, 闵小俊. 用于铸造金属功能件的快速原型模型的特点分析 [J]. 铸造技术, 2003, 24(2): 116-118
- [8] HANNINEN J. Direct metal laser sintering [J]. **Adv Mater & Proces**, 2002, 5: 33-36
- [9] 张 坚, 徐志锋, 郑海中, 等. 选择性激光烧结法制备聚合物 Al_2O_3 纳米复合材料 [J]. 材料工程, 2005(1): 36-39
- [10] 胥橙庭, 沈以赴, 顾冬冬, 等. 选择性激光烧结成形温度场的研究进展 [J]. 铸造, 2004, 53(7): 511-515
- [11] GAUR U, LAU S F, WUNDERLICH B. Heat capacity and other thermodynamic properties of the linear macromolecules [J]. **J Phys Chem Ref Data**, 1983, 12: 93
- [12] 周国泉, 倪涌舟, 王绍民. 高斯光束经波长级圆孔衍射的轴上光强特性 [J]. 中国激光, 2004, 31(4): 437-440
- [13] 姚 山, 陈宝庆, 曾 锋, 等. 覆膜砂选择性激光烧结过程的建模研究 [J]. 铸造, 2005, 54(6): 545-548

Modeling of laser energy input in process of coated sand SLS by thermal imager

YAO Shan*, ZENG Feng, YE Chang-ke, MA Chun-ying, JIN Jun-ze

(Res. Cent. of Foundry Eng., Dalian Univ. of Technol., Dalian 116024, China)

Abstract The temperature fields of the coated sand selective laser sintering (SLS) process were measured and studied by thermal imager and computer automatic control device. The interfering signal and the other defects of the conventional thermometry were avoided. Proper processing parameters—the scanning velocity of 10 mm/s and the laser power from 16 W to 20 W—were obtained by studying the results of temperature measurement. Laser energy input model for the process of the coated sand selective laser sintering was built based on the results of temperature-measuring experiments and the simulation of ANSYS. The element between laser and coated sand in the process of SLS is included in laser energy input model. This model can predict the effects which are caused by different processing parameters. And this model is considered as the foundation of further analyzing the sintering effects under different processing parameters and optimizing laser rapid prototyping processing parameters by computer.

Key words coated sand; selective laser sintering (SLS); temperature fields; laser energy input model; thermal imager