

SLS 预热温度场温度补偿研究

董星涛¹, 周子裕¹, 卢德林², 洪亮亮¹, 阮耀波¹

(1. 浙江工业大学 机械制造及自动化教育部省部共建重点实验室, 浙江 杭州 310014;

2. 浙江省机械工业情报研究所, 浙江 杭州 310009)

摘要: 由于预热粉床的温度分布不均匀, 很难获得强度、精度较高的烧结制件, 针对以上问题, 提出了通过温度补偿改善预热粉床的温度分布不均匀对激光烧结成型制件质量的影响, 通过温度补偿调节粉床的温度分布, 从而提高了烧结制件的质量, 并对粉床温度场进行有限元模拟。研究结果表明, 增加热源的方式对预热粉床进行温度补偿可以明显改善温度场; 通过试验获得了温度补偿的最佳工艺组合。

关键词: 预热温度场; 温度补偿; 选区激光烧结

中图分类号: TB32

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2010)05-0031-04

Study of temperature compensation based on preheating temperature field for SLS

DONG Xing-tao¹, ZHOU Zi-yu¹, LU De-lin², HONG Liang-liang¹, RUAN Yao-bo¹

(1. The MOE Key Laboratory of Mechanical Manufacture and Automation, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China; 2. Zhejiang Information Institute of Machinery Industry, Hangzhou 310009, China)

Abstract: As the preheating temperature of the uneven distribution of powder bed, it is difficult to obtain strength, high precision sintered workpieces. Aiming at this problem, the influence of temperature compensation on the laser sintering quality of workpieces was proposed. The temperature distribution was regulated through the powder bed temperature compensation, thereby the sintered workpieces quality was enhanced. Finite element simulation was made based on powder bed temperature field. The result shows that increasing heat on the powder bed temperature compensation can significantly improve the temperature field and the optimum combination of temperature compensation is obtained.

Key words: preheating temperature field; temperature compensation; selective laser sintering(SLS)

0 引 言

选区激光烧结(SLS)技术是采用红外激光作为热源烧结粉末材料成型的一种快速成型技术。采用 SLS 技术可迅速地将设计思想转化为实物模型, 在产品设计的最初阶段, 设计者就能拿到实实在在的样品, 可以及早地进行观感评价、结构分析、装配校核、性能和功能测试, 及时修改、优化设计, 还可以大大减少失误和返工, 能以最快的速度、最低的成本和最好的品质将新产品投入市场^[1-2]。SLS 分层烧结的原理决定了它可以加工任意复杂的零件, 特别适用于叶轮、电动工具外壳等复杂产品的初期设计验证。在 SLS 成型过程中,

预热是一个重要的环节, 没有预热, 或者预热温度不均匀, 会增加成型时间, 降低成型件的性能和精度, 甚至烧结过程完全不能进行^[3]。一般来说, 结晶材料预热温度在材料熔融温度以下 12℃ 时, 精度在 $\pm 1^\circ\text{C}$ ^[4]。对粉床表面温度的均匀性应有一定的要求, 而且在新的一层粉末铺好后, 应尽快将温度升到设定温度。但由于加热装置和散热环境等因素影响, 使得粉床表面预热温度不均匀, 中间高两边低, 进而影响烧结件性能^[5-6]。

因此, 本研究基于有限元模拟和试验, 通过温度补偿改善预热温度场, 对提高烧结件性能、减少翘曲变形具有重要意义, 同时对提高加热的均匀性和零件的成

型精度也具有重要意义。

1 预热温度场的有限元模拟

SLS 成型预热温度场的有限元模拟结果如图 1 所示,从图中可以看出,粉床的中心区域温度梯度很小。该域的温度约为 175 ℃,所以在该区域烧结零件最理想,零件成型性能较容易控制。在靠近成型缸壁的区域,温度变化剧烈,从内到外温度明显呈减小趋势。在接近缸壁处的粉末温度约为 140 ℃,与缸壁设置温度 140 ℃ 接近。温度场相对 X 轴和 Y 轴对称分布。

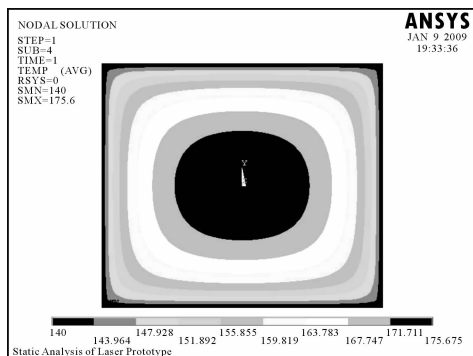


图 1 SLS 成型预热温度场

边缘区域加框型热源温度补偿后,SLS 预热温度场有限元模拟结果如图 2 所示。从图中可以看出随着热源的增加,原本温度只有 160 ℃ 的区域被 170 ℃ 替代,明显扩大了粉床的有效烧结区域。粉床周围区域的温度升高也会使中间理想加工区域的面积扩大。

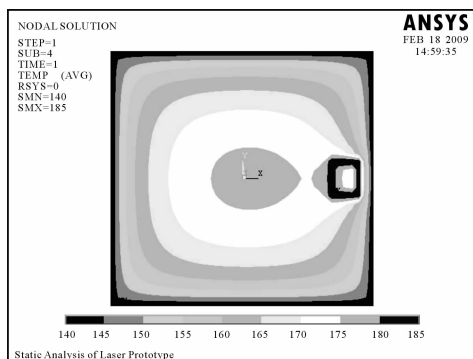


图 2 框型热源的预热粉床温度

模拟结果表明,采用在粉床上增加热源的方式可以扩大粉床的有效烧结区域,这对于提高粉床的利用率,提高加工效率和制件的稳定性有重要作用。在此基础上,笔者在选择性激光烧结成型机等试验平台上进行温度补偿试验,来确定最佳的温度补偿方案。

2 温度补偿试验

2.1 试验设备及材料

本研究采用美国 3D Systems 公司生产的 Sintersta-

tion HiQ + HS 型选择性激光烧结成型机为试验平台。该机的主要参数有:激光器功率为 100 W;扫描速度为 10 m/s;最大成型空间为 330 mm × 380 mm × 450 mm;精度为 ±0.1 mm。材料则采用日本 AMS 公司生产的 Precimid® 1160 型尼龙为试验材料。

2.2 试验方案设计

文献[7-9]中的研究表明,影响 SLS 烧结件密度的因素有激光功率、扫描间距、扫描速度、铺粉层厚和预热温度等。当其它参数一定时,试件的重量仅受预热温度影响,两者之间呈现一定的关系。当所有的加工参数一定时,由于预热温度场的不均匀,在成型缸同一加工层面上的不同点,将得到不同的试件重量^[10]。但由于温度检测困难,笔者用试件重量来衡量热源温度补偿的效果。

本研究采用密度试验的方法,由同一层面的密度分布规律,以及烧结密度和预热温度的经验关系式,反推出了粉床表面的预热稳态温度场,并且得出成型缸内部粉床的温度分布基于 xoz 平面和 $yozy$ 平面对称。因为 X 轴与 Y 轴方向具有相同的温度变化趋势,并且边缘区域温度基本一致,所以对 X 方向进行温度补偿研究。

该实验的试件尺寸为 10 mm × 10 mm × 10 mm 的方块,定位在(160,0)。加工参数:选用常用的一组参数,预热温度为 175 ℃,激光功率为 20 W,扫描间距为 0.15 mm,烧结层厚为 0.1 mm,各加工参数全部固定不变。烧结完成后本研究在英恒电子衡量器上对各组试件进行重量测量,比较在不同温度补偿方案下的试件重量,以确定最优补偿方案。

影响温度补偿效果的因素主要有:热源激光烧结功率(简称补偿功率)、热源厚度(简称厚度)、热源与试件之间的距离(简称间距)。

为获得最佳的温度补偿效果,笔者在试件的底面和四周建立了厚度 1 mm ~ 3 mm 的热源,热源到试件底面和四周均有相等的间距。温度补偿的实际形状如图 3 所示,热源分布图如图 4 所示。

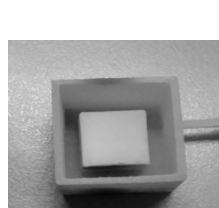


图 3 温度补偿实样

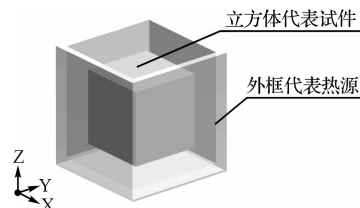


图 4 热源的分布图

成型缸中央区域温度均为 175 ℃,零件强度和精度较高,可以满足工业用途。摆放在中央区域烧结成

型,零件平均重量约为 0.97 g。研究结果表明,在边缘区域进行温度补偿试验,当试件的重量达到 0.97 g 时为最佳温度补偿方案。

本试验采用正交试验法来进行温度补偿研究,正交试验的基础是正交表,用信噪比衡量质量,并用其作为目标函数以进行最优化设计(信噪比是测量质量的一种尺度)。

为了获得最佳的温度补偿效果,对热源工艺参数包括补偿功率、厚度、间距进行优化。设计正交试验表为三因素、三水平正交试验表,3 个主要因素分别为激光功率、温度补偿体的厚度、试件外壁与温度补偿体内壁间距。3 个因素水平表如表 1 所示,正交试验方案如表 2 所示。

表 1 因素水平表

水平	因素		
	厚度/mm	激光功率/W	间距/mm
1	1	20	1
2	1.5	25	2
3	2	30	3

表 2 正交试验方案表

试验序号	试件重量/g			信噪比 /dB
	M_1	M_2	M_3	
1	0.961 8	0.961 4	0.960 6	94.779 6
2	0.961 6	0.962 2	0.961 3	95.809 7
3	0.957 5	0.958 1	0.956 2	87.231 9
4	0.962 7	0.962 9	0.962 1	98.014 7
5	0.961 2	0.960 9	0.960 1	93.601 6
6	0.967 9	0.966 8	0.967 3	118.258 1
7	0.966 2	0.965 4	0.965 8	109.393 1
8	0.972 5	0.972 9	0.973 1	117.248 8
9	0.977 9	0.977 1	0.977 6	97.749 2

2.3 试验结果和分析

在每个温度补偿试验中,为准确衡量该次试验效果以减少试验误差,每组试验做 3 次。从表 2 中可以看出,在第 1,2,3 组试验的时候激光功率的水平是不变的,而其他因子则在这 3 次试验中水平各变动了一次。同样在第 4,5,6 组试验和第 7,8,9 组试验的情况下所对应的激光功率水平也是不变的,而其他因子的水平各变动一次。由此可以得到厚度、间距水平的变动对激光功率所产生的影响。笔者根据信噪比平均值可以得到在激光功率的 3 个不同水平下的最优值,同理可以分别得到厚度、间距在 3 个不同水平下的信噪比平均值。

根据正交试验理论,信噪比越大,产品受噪声因素干扰就越小,所生产出来的产品的质量就越好。根据所得到的各因子信噪比平均值,可以得到最优的温度补偿

的参数组合为:激光功率 30 W、厚度 2 mm、间距 1 mm。

3 温度补偿对烧结件性能改进分析

3.1 试验安排

在前面分析得到的最优级温度补偿参数组合基础上进行强度试验。试件根据塑料拉伸试样标准 1040-92 确定,采用标准型 I 型样件,试件在成型缸中竖直放置,安排在高度相同的两个典型位置 A(0,0)、B(160,0)上,竖直放置时试件截面较小,按中心定位,每组制备 3 个试件,测试结果取平均值。

试件加工参数:选用常用的一组参数,预热温度为 175 ℃,激光功率为 20 W,扫描间距为 0.15 mm,烧结层厚为 0.1 mm,各加工参数全部固定不变。

本研究在拉伸试样的底面和四周建立了厚度为 2 mm 的热源,热源到试件底面和四周均为 1 mm 间距,热源激光功率为 30 W。

3.2 试验结果分析

试验结果数据如表 3 所示。

表 3 拉伸试验数据

位置	拉伸强度/MPa	温度补偿后拉伸强度/MPa
A	67.3	
B	20.38	>65.5

由试验结果可见,在同一加工参数下,不同位置的烧结件拉伸强度相差很大。其中预热温度良好区域 A 处的试件强度达到了 67.3 MPa,拉伸断口平整,如图 5(a)所示,说明烧结良好,接近实体尼龙产品;在靠近成型缸壁的 B 处试件强度相对要小很多,只有 20.38 MPa,拉伸断口凹凸不平,中间呈白色,表明烧结不充分,如图 5(b)所示。

对 B 处试件进行温度补偿后,试件烧结充分,拉伸强度得到了较大提升,均超过了 65.5 MPa,拉伸断口平整,如图 5(c)所示,可以满足机械性能要求。试验结果说明,在边缘区域进行温度补偿可以提高试件的机械性能。

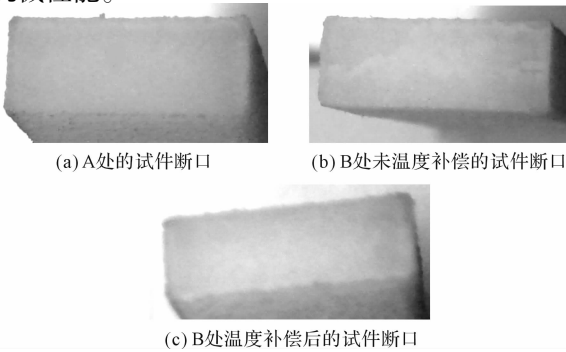


图 5 不同位置的烧结件试件断口

4 结束语

针对 SLS 预热粉床温度场分布不均匀,从中心到周围区域的过程中,粉床预热温度呈下降趋势,导致边缘区域零件机械性能不佳;本研究通过有限元模拟,说明在边缘区域增加温度补偿能够改善预热温度场分布,提高了产品机械性能;结合试验研究,以及获得的温度补偿的最佳工艺组合都证明,温度补偿后,烧结件的机械性能有较大改善。

参考文献 (References):

- [1] 黄卫东,伊启中,彭小冬. 影响 SLS 烧结密度的成型工艺参数的研究[J]. 福建工程学院学报,2004,2(4):406-408.
- [2] 冯 宁. 模块化多功能激光烧结机设计[J]. 机电工程技术,2009,38(3):80-82.
- [3] 汪 艳,史玉生,黄树槐. 热塑性塑料的选域激光烧结成型[J]. 塑料科技,2003(5):26-28.

- [4] 李小城,王鹏程,肖军杰,等. SLS 高分子粉末材料的成型工艺参数及质量的比较研究[J]. 塑料,2007,36(1):66-71.
- [5] 梁红玉,朱宇明,徐 宏,等. 覆膜陶瓷粉末激光扫描烧结温度测试[J]. 测试技术学报,2000,14(2):126-130.
- [6] 王金宝,朱善安,林 峰. 目标识别在微光水平尺光点精度检测中的应用[J]. 机电工程,2006,23(2):46-48.
- [7] 曾锡琴,朱小蓉. 高分子材料选区激光烧结力学性能的研究[J]. 南京师范大学学报:工程技术版,2005,5(4):91-94.
- [8] 白培康,朱林泉,程 军,等. 复合有机材料激光烧结成型性能试验研究[J]. 华北工学院学报,1999,20(1):1-4.
- [9] 董灵涛,阮耀波,卢德林. 选择性激光烧结激光能量密度与温度补偿规律研究[J]. 机电工程,2009,26(3):66-68.
- [10] 王正伟. 基于温度场的选区激光烧结成型工艺关键技术研究[D]. 杭州:浙江工业大学机电工程学院,2008.

[编辑:张 翔]

(上接第 24 页)

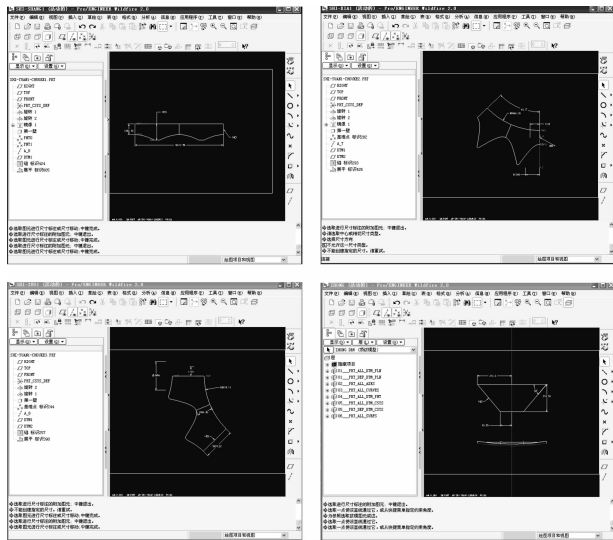


图 8 四岔管各部分零件工程图

6 结束语

本研究应用 Pro/E 软件中的钣金设计功能,进行四岔管的平面设计分析展开,包括三维建模、各部分零件的展开和工程图绘制。Pro/E 构造的三维实体能清晰的表达设计者的设计意图,工程图则可以更精确的用于实际下料。Pro/E 的三维实体造型为岔管和圆柱与圆锥相贯设计提供了准确的相贯线,从根本上改变了传统的管类钣金设计、展开、下料技术,为需精确下料的管类钣金提供了理论基础,使得管类钣金有更广

泛的运用前景。

本研究分析为岔管类钣金下料提供了更精确的方法和经验,为管类钣金制作提供了有效的办法。

参考文献 (References):

- [1] 二代龙震工作室. Pro/SHEETMETAL wildfire 钣金设计[M]. 北京:电子工业出版社,2004.
- [2] 陈万里. 钣金工下料基础知识[M]. 2 版. 北京:中国建筑工业出版社,1981.
- [3] 唐顺钦. 实用钣金工展开手册(下)[M]. 北京:冶金工业出版社,1979.
- [4] 刘明涛,李昊丞. Pro/ENGINEER 野火版 3.0 钣金设计从入门到精通[M]. 北京:人民邮电出版社,2008.
- [5] 袁 锐,马 旭. Pro/E 在精密播种机设计中的运用[J]. 农机化研究所,2006(5):161-163.
- [6] 李恒菊. Prp/Engineer 在注射器活塞柱模具设计中的应用[J]. 机电工程技术,2008,37(8):55-56.
- [7] 周静卿,张淑娟,赵凤芹. 机械制图与计算机绘图[M]. 北京:中国农业出版社,2007.
- [8] 贾春玉,郑长民. 画法几何与机械制图[M]. 秦皇岛:中国标准出版社,2005.
- [9] WHITE F M. Fluid Mechanics[M]. 5th ed. Beijing: Tsinghua University Press,2004.
- [10] 周同根. 基于 Pro/E 的模具标准件库与通用件库的管理与调用[J]. 现代制造技术与装备,2008(5):58-59.

[编辑:张 翔]