

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.04.009

PS 粉末 SLS 快速成型收缩率实验研究

姜乐涛^{1,2}, 白培康¹, 赵娜², 刘宇琨²

(1. 中北大学材料科学与工程学院, 太原 030051; 2. 石家庄经济学院, 石家庄 050700)

摘要: 为了得到聚苯乙烯粉末的选择性激光烧结 (SLS) 快速成型最佳工艺参数, 采用正交试验方法, 结合 SLS 实验, 分析影响烧结试样尺寸精度的 4 个主要因素, 并得到最佳工艺参数及在此工艺下的修正系数。结果表明, 随着激光功率的增加, 试样的收缩率呈先增加后减小的趋势; 随着扫描速度和铺粉厚度的增加, 试样的收缩率呈减小趋势; 随着预热温度的升高, 试样的收缩率呈先减小后增加的趋势。最佳工艺参数为: 激光功率 44 W、扫描速度 1900 mm/s、铺粉层厚 0.23 mm、预热温度 70℃。水平方向修正系数为 1.0049, 竖直方向修正系数为 1.0050。在最佳工艺参数下烧结的修正尺寸后的试样满足精度要求。

关键词: 聚苯乙烯; 选择性激光烧结快速成型; 成型工艺; 收缩率

中图分类号: TG249 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)04-0041-05

Study on Shrinkage Rate of PS Powders with Selective Laser Sintering Rapid Prototyping Experiment

Jiang Letao^{1,2}, Bai Peikang¹, Zhao Na², Liu Yukun²

(1. School of Materials Science and Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China;

2. Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050700, China)

Abstract: In order to obtain the process parameters, the selective laser sintering rapid prototyping experiments of polystyrene (PS) powders was studied by using the method of orthogonal test. The four important influence factors that affect the dimensional accuracy of the sintered samples were analyzed. The optimum process parameters and correction factors were obtained. The results show the shrinkage rate increases firstly and then decreases with the laser power increasing, the shrinkage rate decreases with the laser scanning speed and the powder layer thickness increasing, the shrinkage rate decreases firstly and then increases with preheating temperature increasing. The optimum process parameters show that the laser power is 44 W, the laser scanning speed is 1900 mm/s, the powder layer thickness is 0.23 mm, the preheating temperature is 70℃, and the correction factor on horizontal is 1.0049, the correction factor on vertical is 1.0050. The parts with correction factors and optimum process parameters are gained, and the dimensional accuracy is satisfied.

Keywords: polystyrene; selective laser sintering rapid prototyping; prototyping process; shrinkage rate

快速成型技术是 20 世纪 80 年代发展起来的一种高新制造技术^[1], 集机械工程、材料科学、计算机辅助设计 (CAD)、分层制造技术、逆向工程技术、数控技术、激光技术于一体, 可以直接、快速、自动、精确地将设计思想转变为具有一定功能的原型或直接制造零件。目前, 主要的快速成型技术有光固化立体造型 (SLA) 快速成型、层片叠加制造 (LOM) 快速成型、选择性激光烧结 (SLS) 快速成型和熔融沉积造型 (FDM) 快速成型等。其中 SLS 快速成型技术具有材料品种多、节省用料、应用领域广等优点^[1], 得到了快速的发展。SLS 快速成型技术可以实现真正的自由制造, 可以成型任何复杂零件, 尤其是传统加工难以实现的内部复杂零件, 而且未烧结的粉末可作为支架, 故成型时不需要专门制作支撑, 同时未

烧结的粉末可以回收再利用, 这使得 SLS 快速成型技术相比于其它快速成型技术更具优势。

近年来, 随着 SLS 快速成型技术的广泛应用, SLS 快速成型技术与熔模铸造相结合的快速制模技术成为一个新研究方向^[2-4]。应用 SLS 快速成型技术制造的熔模比传统技术具有更加优良的性能, 形状可更复杂, 成为国际上研究的热点。目前, 用于 SLS 快速成型技术制造熔模的烧结材料已经开发出尼龙 (PA)、聚苯乙烯 (PS)、聚碳酸酯 (PC) 等十几种^[2-3]。其中 PS 粉末因其吸湿率小、成型温度范围宽、收缩率相对较小等优点获得了广泛的应用, 成为

联系人: 姜乐涛, 博士, 讲师, 主要研究方向为快速成型技术、液态成型加工

收稿日期: 2015-01-26

快速熔模铸造的主要成型材料。中北大学自主开发了一种用于 SLS 快速成型技术的 PS 粉末,可用于制造熔模。众所周知,衡量熔模质量最重要的指标之一是熔模成型件的尺寸精度,笔者用 PS 粉末在 SLS 成型机上进行了大量烧结实验,研究影响 PS 粉末熔模成型件尺寸精度的因素,以便为进一步提高成型件质量打下良好的基础。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PS 原型烧结粉: 白色,密度约为 1.05 g/cm^3 ,玻璃化转变温度约为 80°C ,粘态流动温度约为 180°C ,粒径约为 $70 \sim 90 \mu\text{m}$ 。

1.2 主要仪器与设备

激光快速成型机: HLP-350 I 型,自制。

1.3 实验方法

(1) 实验目的。

在 SLS 快速成型过程中,影响制件成型质量最常见的情况为收缩变形,收缩变形会影响制件的尺寸精度。收缩变形与激光烧结工艺参数密切相关,故本实验的第一个目的是分析烧结过程中影响收缩变形的因素,进而得到最优工艺参数。因为收缩变形是不可避免的,为了使烧结制件能满足要求,还需要找到一个修正系数,用于修正制件因材料和工艺参数引起的收缩误差,这是本实验的第二个目的。本实验的修正系数主要考虑水平和竖直方向,修正系数公式如下^[5]:

$$C = \frac{1}{1-S} \quad (1)$$

$$S = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中: C ——修正系数;

S ——收缩率;

A_0 ——实测试样尺寸;

A_1 ——标准件尺寸。

(2) SLS 技术工艺过程。

SLS 快速成型技术是采用激光有选择性地逐层烧结固体粉末^[1],叠加生成三维实体零件的快速成型方法。首先绘制 CAD 三维立体模型,然后再对其进行切片处理,得到每一截面层的信息,将信息输入快速成型机的控制电脑中,烧结成型时在工作台上铺上一层粉末,然后在电脑控制下激光束开始根据待成型零件的第一层切片信息进行扫描、烧结,激光束扫过的粉末烧结成一定厚度的实体片层,未扫

过的地方仍然是松散的粉末,一层烧结完成后继续铺粉进行下一层扫描、烧结,并使新的一层和前一层烧结在一起,如此反复,逐层叠加,得到所需要的原型或零件。烧结完成后,将成型件取出,清除多余粉末(多余的粉末可以重复利用),成型件再进行浸蜡等后处理工艺,此时的成型件就可以作为熔模,送铸造车间进行熔模铸造。SLS 快速成型的基本原理如图 1 所示^[6]。

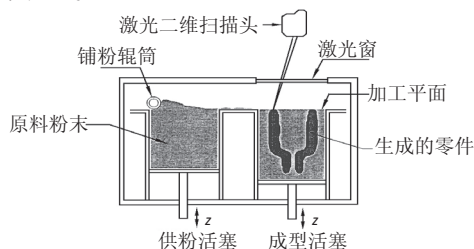


图1 SLS快速成型的基本原理图

(3) 试样制备。

按上述 SLS 快速成型技术工艺制备试样,如图 2 所示。试样的名义尺寸为:长 100.00 mm 、宽 100.00 mm 、高 20.00 mm 。测量烧结试样的长(X)、宽(Y)、高(Z),计算各方向的收缩量。

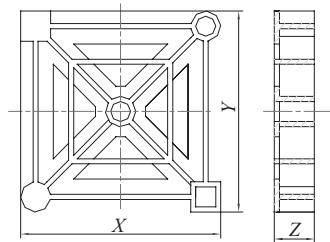


图2 试样示意图

1.4 正交试验设计

目前,在生产过程中,寻求最佳工艺参数组合、进行最优化设计和建立数学模型时,最常用的试验设计是正交试验设计,可以以较少的次数、较短的周期和较低的费用迅速得到正确的试验结果。采用正交试验设计,然后用方差分析进行数据处理,从而得到烧结过程的最佳工艺参数。

经验表明,在 SLS 快速成型过程中,影响烧结件尺寸精度的最主要因素为扫描速度、激光功率、铺粉厚度和预热温度^[7]。故本实验选取以上 4 个工艺参数作为试验因子,选取 4 因素 4 水平正交表,试验因素水平表如表 1 所示,正交试验方案如表 2 所示,共进行 16 组试验,每组 9 个试样,测量数据取平均值。

2 试验结果

对 16 组试样进行测量,得到每组试样各方向的

平均尺寸,用设计尺寸减去实测尺寸,得到各方向的收缩量,结果见表3。

表1 试验因素水平表

水平	因素			
	扫描速度(A)/ mm·s ⁻¹	激光功率(B)/W	铺粉厚度(C)/mm	预热温度(D)/℃
1	1600	36	0.13	50
2	1900	44	0.18	60
3	2200	52	0.23	70
4	2500	60	0.28	80

表2 正交试验方案表

试验号	因素			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	1	4	4	4
5	2	1	2	4
6	2	2	3	3
7	2	3	4	2
8	2	4	1	1
9	3	1	3	2
10	3	2	4	1
11	3	3	1	4
12	3	4	2	3
13	4	1	4	3
14	4	2	1	4
15	4	3	2	1
16	4	4	3	2

表3 试样各方向收缩测量结果

试验号	收缩量/mm		
	X方向	Y方向	Z方向
1	0.54	0.54	0.11
2	0.57	0.56	0.12
3	0.59	0.58	0.13
4	0.68	0.69	0.14
5	0.56	0.56	0.12
6	0.49	0.49	0.10
7	0.54	0.54	0.12
8	0.67	0.66	0.14
9	0.54	0.55	0.11
10	0.54	0.55	0.11
11	0.59	0.60	0.12
12	0.65	0.64	0.13
13	0.53	0.55	0.11
14	0.56	0.57	0.12
15	0.58	0.58	0.12
16	0.62	0.63	0.13

以X方向为例,对表3的测量结果进行方差分析,结果见表4。由表4可知,在X方向, $S_B>S_D>S_C>S_A$ 。同理,可计算在Y,Z方向的方差分析结果,其结果与X方向相同,说明对试样尺寸变形影响最大的是激光功率,然后依次是预热温度、铺粉厚度、扫描速度,各因子最优化工艺参数为:A2,B2,C3,D3,故最佳工艺参数为:扫描速度1900 mm

/s、激光功率44 W、铺粉层厚0.23 mm、预热温度70℃。根据公式(2)计算可得,最佳工艺条件下水平方向的收缩率为0.49%,竖直方向的收缩率为0.50%,多次试验结果基本一致,结果稳定。根据公式(1)可得,此工艺条件下水平方向的修正系数为1.0049,竖直方向的修正系数为1.0050。修正尺寸后,用优化工艺参数烧结的试样如图3所示,测试试样各部位的尺寸及收缩率,结果见表5。试样的收缩率可以满足使用要求。

表4 X方向方差分析计算结果

项目	因素			
	A	B	C	D
M_{1j}	2.38	2.17	2.36	2.33
M_{2j}	2.26	2.16	2.36	2.27
M_{3j}	2.32	2.30	2.24	2.26
M_{4j}	2.29	2.62	2.29	2.39
m_{1j}	0.60	0.54	0.59	0.58
m_{2j}	0.57	0.54	0.59	0.57
m_{3j}	0.58	0.58	0.56	0.57
m_{4j}	0.57	0.66	0.57	0.60
R_j	0.12	0.46	0.12	0.13
S_j	0.0020	0.0346	0.0026	0.0027

注: M_{ij} 为第j列水平号为i的X方向平均收缩量之和, m_{ij} 为第j列水平号为i的X方向平均收缩量的均值, R_j 为第j列极差, S_j 为第j列方差平方和。

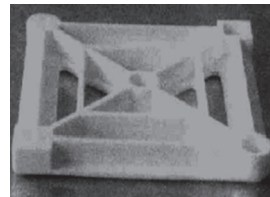


图3 采用优化工艺参数烧结的试样

表5 采用优化工艺参数烧结的试样测量结果

项目	方向	名义尺寸/mm	测量值/mm	收缩率/%
长	X	100.00	99.95	0.05
宽	Y	100.00	99.96	0.04
高	Z	20.00	19.99	0.05
角圆内径		10.00	9.98	0.2
中心圆内径		10.00	9.98	0.2
中心圆外径		15.00	15.04	-0.3
角方孔内径	X	10.00	9.98	0.2
	Y	10.00	10.00	0
角方孔外径	X	15.00	14.90	0.6
	Y	15.00	14.94	0.4

3 试验分析

3.1 扫描速度对试样收缩率的影响

试验表明,在其它条件一致的情况下,随着扫描速度的增加,试样尺寸的精度提高,收缩率减小。这是因为,随着扫描速度的增加,粉末受激光照射时间变短,故传输的热量减少,烧结深度会降低,粉末的熔融程度降低,相应收缩率就会减少。因此,适当

提高扫描速度既可以提高加工速度和效率,也可以提高试样的精度,减小收缩率。但是,并不是扫描速度越大越好,因为扫描速度过大,有可能造成粉末层不能烧透,造成分层等缺陷。因此要适当提高扫描速度,做到既要保证加工效率,提高精度,又要保证烧结质量。本实验中,在激光功率为 44 W、铺粉层厚为 0.23 mm、预热温度为 70℃ 情况下,只改变扫描速度,获得的试样收缩率随扫描速度变化的曲线如图 4 所示。由图 4 可知,在其它条件不变的情况下,随着扫描速度的增加,试样尺寸的收缩率逐渐减小。但实验结果表明,当扫描速度超过 2 000 mm/s 后,试样的烧结强度不够,有时会出现分层缺陷,故最终选择扫描速度为 1 900 mm/s。

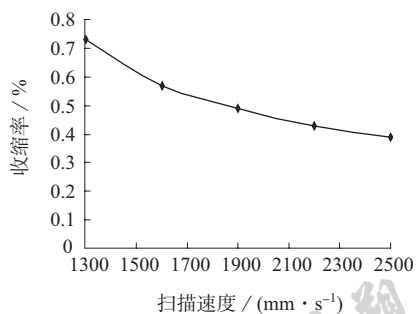


图 4 扫描速度对试样收缩率的影响

3.2 激光功率对试样收缩率的影响

激光功率是影响烧结性能的最主要因素,找到烧结成型过程中最适宜的激光功率至关重要。一般情况下,激光功率越大,试样的烧结深度越深,收缩率也越大。这是因为随着激光功率的增加,其能量密度增大,传输的热量就会增加,所以烧结充分,粉末熔融充分,收缩率就会增加,烧结深度和烧结密度会提高。相反,激光功率低,收缩率就会相应减小,但是激光功率过低可能造成粉末层不能烧透,也会造成分层等缺陷。另外,如果激光功率过高,反而可能会造成试样尺寸增加的现象,这是因为激光功率太大,传输的热量过多,多余的热量会随着粉末传递,将试样周边粉末熔化,从而粘附在试样上,造成试样尺寸增加的现象。本实验中,在扫描速度为 1 900 mm/s、铺粉层厚为 0.23 mm、预热温度为 70℃ 情况下,只改变激光功率,获得的试样收缩率随激光功率变化的曲线如图 5 所示。由图 5 可以看出,在其它条件不变的情况下,激光功率小于 52 W 时,随着激光功率的增加,试样尺寸的收缩率呈逐渐增加趋势。试验证明,当激光功率超过 52 W 后,试样有粘粉现象,故选择的激光功率应低于 52 W。但

在激光功率低于 40 W 时,烧结的试样强度不够,有时会有分层现象,故最终选择激光功率为 44 W。

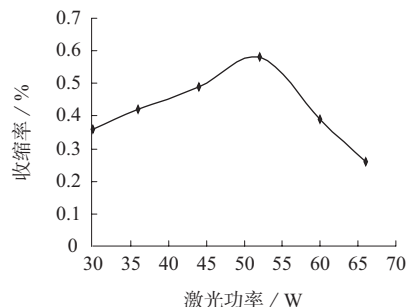


图 5 激光功率对试样收缩率的影响

3.3 铺粉厚度对试样收缩率的影响

一般来说,随着铺粉厚度的增加,试样收缩率会减小。这是因为粉层增厚,激光穿透粉层所需的热量加大,从而造成激光穿透程度降低,而需要加热的粉末也相应增加,单位时间熔化收缩的粉末比例减小,收缩率就会减小。此外,粉末所需的热量增加,向外辐射的热量就会减少,也减少了试样边缘处的粉末熔化粘附的几率,故收缩率一般会随粉层厚度增加而减小。但是如果粉层过厚,会造成烧结不完全,可能会发生分层等缺陷。本实验中,在扫描速度为 1 900 mm/s、激光功率为 44 W、预热温度为 70℃ 情况下,只改变铺粉厚度,获得的试样收缩率随铺粉厚度变化的曲线如图 6 所示。由图 6 可以看出,在其它条件不变的情况下,试样尺寸的收缩率随铺粉厚度的增加呈逐渐减小趋势。但试验表明,当铺粉厚度达到 0.28 mm 时,试样出现分层情况,故最终确定铺粉厚度为 0.23 mm,既保证了加工速度和成型精度,又保证了成型质量。

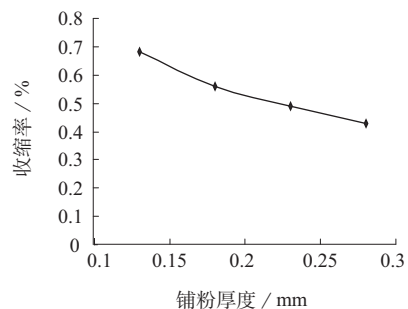


图 6 铺粉厚度对试样收缩率的影响

3.4 预热温度对试样收缩率的影响

如果不进行预热,激光扫描时粉末的温度会急剧升高,然后又迅速下降,会造成冷凝收缩,同时还会形成内应力,造成试样变形甚至损坏,所以预热温度对试样成型质量具有非常重要的影响。一般来说,

随着预热温度的增加,粉末的温差减小,烧结完成后再缓慢降温,就会减小收缩率。但是因为预热温度的存在,会增加烧结深度,一定程度上会增加收缩率。本实验中,在扫描速度为 1900 mm/s、激光功率为 44 W、铺粉层厚为 0.23 mm 情况下,只改变预热温度,获得的试样收缩率随预热温度变化的曲线如图 7 所示。由图 7 可以看出,在其它条件不变的情况下,试样的收缩率随着预热温度的增加呈现先减小后增大的趋势,当预热温度为 70℃时,试样的收缩率最小,并且试验证明,此温度下不会发生粉底板结现象,故最终选择预热温度为 70℃。

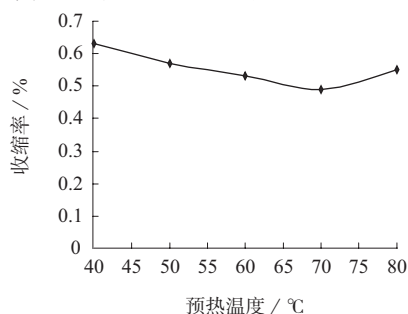


图 7 预热温度对试样收缩率的影响

4 结论

(1) 影响试样收缩率的因素主要有扫描速度、激光功率、铺粉厚度及预热温度等。随着扫描速度和铺粉厚度增加,试样的收缩率呈减小趋势;随着激光功率的增加,试样的收缩率呈先增加后减小的趋势;随着预热温度的升高,试样的收缩率呈先减小后增加的趋势。

(2) 采用 SLS 快速成型技术烧结 PS 粉,得到优化后的工艺参数为:激光功率 44 W、扫描速度 1900 mm/s、铺粉层厚 0.23 mm、预热温度 70℃,水平方向修正系数为 1.0049,竖直方向修正系数为

1.0050。

(3) 用优化工艺参数烧结的修正尺寸后的试样能够满足熔模精度要求。

参考文献

- [1] 白培康. 选择性激光烧结快速成型技术研究及应用现状 [J]. 航空制造技术, 2009(3):51-53.
Bai Peikang. Research and application of rapid prototyping with selective laser sintering[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2009(3):51-53.
- [2] Drummer D, Wudy K, Kuhnlein F, et al. Polymer blends for selective laser sintering:Material and process requirements[J]. Physics Procedia 2012, 39:509-517.
- [3] Franco A, Lantta M, Romoli L. Experimental analysis of selective laser sintering of polyamide powders:An energy perspective[J]. Journal of Cleaner Production, 2010, 30(18):1 722-1 730.
- [4] Pattnaik S, Karunakar D B, Jha P K. Developments in investment casting process-A review [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2012, 212:2 332-2 348.
- [5] 崔建芳, 白培康, 刘斌. 塑料粉末选择性激光烧结收缩实验研究 [J]. 热加工工艺, 2008, 37(21):18-20.
Cui Jianfang, Bai Peikang, Liu Bin. Experimental study of plastic powder shrinkage during selective laser sintering forming[J]. Hot Working Technology, 2008, 37(21):18-20.
- [6] 崔建芳, 王振荣, 白培康. 塑料粉末选择性激光烧结成型精度实验研究 [J]. 铸造技术, 2009, 30(7):939-941.
Cui Jianfang, Wang Zhenrong, Bai Peikang. Experimental study of selective laser sintering forming accuracy on the plastic powder[J]. Foundry Technology, 2009, 30(7):939-941.
- [7] 姜乐涛, 白培康, 刘斌, 等. 基于 SLS 技术的精铸蜡粉烧结件翘曲变形研究 [J]. 热加工工艺, 2014(9):73-77.
Jiang Letao, Bai Peikang, Liu Bin, et al. Study on warpage deformation of sintered part of precision casting wax powder based on SLS technology[J]. Hot Working Technology, 2014(9):73-77.

芬兰研究人员开发出大型发光塑料薄膜

基于有机发光二极管 (OLED) 技术, 依靠一台印刷机, 芬兰公司 VTT 技术研究中心已创造出一款带图案有弹性的发光表面塑料薄膜, 可用于广告展示牌、指示标志和照明器具。通过这种方式, 还能为包装的带窗口板件提供透明智能表面。

OLED 通常出现在手机显示器和电视机上。但直到现在, 也仅仅通过传统的微电子学制造工艺用于玻璃表面上。

采用 VTT 的方法, OLED 元件不仅能够被印刷在玻璃或钢铁表面上, 还能印刷在软质塑料薄膜上, 可以制造出更加大型的发光表面, 而且扩展了这项技术的可能性。

传统的印刷方式, 比如凹版印刷和丝网印刷被用于量产

OLED 发光表面, 在传统的印刷厂中就可以进行生产。

通过这种新型的制造方式制造的 OLED 可发射光。这种现象被称为电场发光。OLED 的光度是 LED 光度的三分之一左右。OLED 发光贯穿整个表面, 而 LED 则是一项聚光技术。

目前, VTT 的塑料 OLED 薄膜发光时间只能维持一年左右, 因为发光聚合物材料易受氧气和湿度的影响。在未来, 随着屏幕保护膜的继续发展和应用的增加, 这种 OLED 发光薄膜的使用寿命将会增加。

这款塑料薄膜非常适合广告宣传, 相比小幅的印刷广告图或不会发光的黑白显示器, 大型发光表面更能吸引公众的注意力。
(慧聪网)