

高分子材料选区激光烧结力学性能的研究

曾锡琴¹, 朱小蓉²

(1 江苏广播电视大学 武进学院, 江苏 常州 213161;

2 江苏工业学院 机械系, 江苏 常州 213016)

[摘要] 研究了烧结件系统参数如激光功率、铺粉密度对烧结件密度的影响, 总结了提高烧结件密度的方式, 从而实现提高烧结件力学性能的目的. 在基于对快速成型加工方法(特别是选择性激光烧结 SLS)进行深入研究后, 为解决以高分子粉末材料为基底的烧结件力学性能较差的问题, 采用系统最佳参数烧结成型测试件, 并对其进行了渗树脂处理, 并对原型件和经过处理的试样分别进行了力学性能测试, 包括压缩性能、拉伸性能、弯曲性能测试等, 得到机械性能为原型烧结件 3~4 倍的增强烧结件, 为提高成型件的力学性能提供了新的途径.

[关键词] 选择性激光烧结, 高分子粉末, 树脂增强, 力学性能

[中图分类号] TQ320.66 [文献标识码] B [文章编号] 1672-1292(2005)04-0091-04

A Research on the Mechanics Capability of Laser Sintering in the Macromolecule Selective Area

ZENG Xiqin¹, ZHU Xiaorong²

(1. Wujin College, Jiangsu Radio and TV University, Jiangsu Changzhou 213161, China)

2. Department of Machinery, Jiangsu Industry Institute, Jiangsu Changzhou 213061, China)

Abstract This paper presents the effect of SLS processing parameters on the as-sintered sample and obtains the optimum parameters. After a profound research based on the processing method of quick taking shape (esp. Selective Laser Sintering), in order to solve the problem (ie., the poor mechanic capability of sintering product of Macromolecule powder material), a colophony reinforcing treatment is given to the sintering original. The test of the mechanical properties is done of the as-sintering samples which are processed under the optimum parameters including stretch test, rigidity and so on. The reinforced sintering samples are obtained whose mechanic properties is 3 to 4 times that of the original sintering samples, which provides a new way to increase the mechanic properties of moulding samples.

Key words selective laser sintering, macromolecule powder, colophony reinforcement, mechanic property

0 引言

快速成型技术 RP&M (Rapid Prototyping & Manufacturing) 是当今世界上发展最快的材料成型技术, 经过 10 多年的发展, 目前已形成了十几种先进的工艺技术, 各种方法均具有自身的特点和适用范围. 比较成熟的工艺有: 液态光敏树脂选择性固化 (SLA)、薄形材料选择性切割 (LOM)、粉末材料激光烧结 (SLS)、丝状材料选择性熔覆 (FDM)、粉末材料选择性粘贴 (TDP) 以及热塑性材料选择性喷洒等.

SLS 作为快速成型制造技术的重要分支之一,

是目前发展最快和应用最广的技术之一. 它和 SLA、LOM 构成激光快速成型技术的核心. 与其它快速成型技术相比, SLS 以选材广泛、无需设计和制造复杂支撑并且可直接生产注塑模、电火花加工电极以及可快速获得金属零件等功能性零件而受到了越来越广泛的重视.

1 激光选区烧结成型技术

激光选区烧结技术 SLS (Selective Laser Sintering) 是使用红外波段的激光 (CO₂ 激光器或 Nd:YAG 激光器) 熔化或烧结粉末材料, 利用分层烧结的思想直接成型为三维实体零件. 烧结分固相烧结

收稿日期: 2005-04-25

作者简介: 曾锡琴 (1970-), 女, 讲师, 主要从事机械材料方面的教学与研究. E-mail: Zengxq309@163.com

和液相烧结, 固相烧结依靠原子扩散传质来形成连接, 扩散速度慢, 烧结时间长, 而液相烧结是靠液相的流动来传质, 速度快, 烧结时间短。而在 SLS 系统中, 激光束对任何粉末颗粒的作用时间都非常短, 大约为几 ms 到几十 ms, 所以目前 SLS 技术大多采用液相烧结, 其材料由两种熔点相差明显的成分组成, 高熔点成分称为结构材料, 低熔点成分称为粘结剂。因此, 从原则上讲, 所有受热能相互粘结的粉末材料或表面覆有热固(塑)性粘结剂的粉末都能用作 SLS 材料。

目前, SLS 材料主要有塑料粉、蜡粉、尼龙、金属或陶瓷的包衣粉(或与聚合物的混合物)等。在国外用 SLS 系统烧结聚苯乙烯、聚碳酸酯等高分子复合材料已经商品化, 工艺已经比较成熟, 应用广泛, 但其技术严格保密, 价格昂贵, 并且是专门针对 DTM 公司的 SLS 烧结系统开发的, 在其它烧结系统上的应用还需要进一步研究。而国内目前开发的材料成型零件的力学性能较差, 精度较低, 一般只能作为样件使用。为了推广这项技术, 对华中科技大学开发的 HB1 粉末材料烧结成型件进行后处理, 得到功能件。

2 激光烧结参数的确定

激光选区烧结系统参数直接影响着烧结成型件的性能。主要的参数包括: 激光功率、激光光斑直径、烧结间距、扫描速度。

2.1 激光功率的确定

若激光功率小, 则粉末的烧结厚度也小, 使后一层和前一层不能很好的连接, 会引起烧结体脱落; 若激光功率太大, 虽然后一层和前一层连接在一起, 但由于烧结温度过大, 使粉末层产生太大的收缩, 影响烧结体的精度, 严重时还会出现翘曲变形和开裂。适当地选择激光功率, 既可以保证层与层之间连接好, 又可以使烧结收缩和变形小。

2.2 激光烧结间距和光斑直径的确定

另一个重要的扫描参数是烧结间距, 烧结间距也应该有一个最高限, 这个最高限主要取决于激光束的直径(即激光光斑直径)和截面强度分布。从烧结的要求来看, 总是要求烧结的能量在平面上的每一个烧结点都是均匀的。烧结间距过大, 将会使得这种均匀性降低, 激光光斑中间温度高, 边缘温度低, 导致中间部分烧结密度高, 边缘烧结不牢固, 还可能使得扫描线之间的区域完全不发生烧结。但烧结间距过小, 又会严重降低成型效率。从实际情况看, 本系统取烧结间隔为 0.1 mm 最合适。

2.3 扫描速度的确定

扫描速度是影响激光作用于材料的时间因素。在一定的激光功率和光斑直径下, 扫描速度低, 烧结时间长, 烧结的温度相对较高, 有利于粘性流动和颗粒的重排, 一般会不同程度地促进烧结。但过慢的烧结速度会导致温度过高, 使烧结材料发生某些质变, 反而影响烧结体的致密性。相反烧结速度过快, 会导致烧结温度梯度增大, 温升不均匀, 不利于粘性流动和颗粒的重排, 同样对烧结成型质量有影响。因此在激光烧结过程中与激光功率一样, 扫描速度对烧结的温度影响较大, 直接影响烧结的质量, 是一个重要的因素。且在选择扫描速度时, 提高扫描速度对提高激光能量的均匀性、成型质量、烧结成型效率都有好处, 所以, 一般可以选择最大扫描速度。在此选择最佳扫描速度为 2 400 mm/s。

通过大量的实验寻找出 HB1 粉末材料的最佳烧结参数为: 激光能量 10 W, 扫描速度 2 000 mm/s, 扫描间距 0.1 mm, 烧结层厚 0.2 mm。

3 实验

3.1 主要实验材料

材料为华中科技大学的 HB1(200目)型材料, 以高分子粉末为主要成分, 加入少量的无机填充物、润滑剂、抗氧剂。

树脂及固化剂: 环氧树脂 E51、固化剂、稀释剂

3.2 试样制备

试样在 HRPS-III A 快速成型机上烧结成型, 采用加工参数为: 激光能量 10 W, 扫描速度 2 000 mm/s, 扫描间距 0.1 mm, 烧结层厚 0.2 mm, 预热温度 85℃左右。每个试验分为两组, 每组 5 个试样, 一组试样为未经后处理加工的原型件, 另一组为经过渗透树脂处理的试件。

树脂后处理的过程是使用按一定比例调和好的树脂试剂均匀的涂刷在试件上, 直至试件完全浸透树脂, 颜色呈黄色, 放在通风处吹干, 将浸润环氧树脂固化体系的烧结件放入烘箱内, 至少 5 h 以改善渗透情况, 提高渗透质量。

3.3 仪器及测试方法

试验所用测定设备为日本岛津公司的 SHIMADZU 电子万能试验机, 型号为 AGS-10 kN, 最大加载 10 kN。压缩试验按 GB 1041-92《塑料压缩性能试验方法》, 选取矩形柱体, 对试样施加静态压缩负荷时测定塑料压缩性能的方法。压缩性能试验速度(空载) 5 mm/min, 设定压缩应变为 25%。拉伸试样按国标 GB 1040-79《塑料拉伸试验方法》, 选用

型试样, 试验速度选用 A 型 10 mm /m in. 弯曲性能试样按 GB9341-88 《塑料弯曲性能试验方法》进行加工, 对试样施加静态 3 点式弯曲负荷的弯曲性能测定, 试验速度为 2 mm /m in.

4 结果与讨论

4.1 压缩性能

试验中, 未经后处理的试样在压缩达到 25%

之前, 发生了破坏, 故为压缩破坏应力; 而经处理后的试样, 在压缩达到 25% 之前, 发生了屈服, 故为压缩屈服应力.

表 1 为树脂处理前后的压缩性能. 未经后处理的烧结试样的最大受压为 7.909MPa 渗树脂处理后试样最大受压为 62.348MPa, 其抗压能力是未经后处理的烧结试样的 7.8 倍 (如图 1 所示).

表 1 压缩性能试验数据

试样类型	编号	宽度 b/mm	厚度 d/mm	横截面积 A/mm^2	压缩负荷 P/N	压缩应力 σ_c/MPa
未经后处理的试样	1	14.7	10	147	1 102.5	7.5
	2	14.8	9.9	146.52	1 202.5	8.207
	3	14.6	9.8	143.08	1 191.2	8.325
	4	14.7	10	147	1 062.5	7.228
	5	14.8	10	148	1 226.2	8.285
平均值					1 156.98	7.909
经后处理加工的试样	1	14.3	9.2	131.56	8 835	67.156
	2	14.2	9.5	134.9	7 947.5	58.914
	3	14.3	9.4	134.42	7 810	58.101
	4	14.6	10	146	9 517.5	65.188
	5	14.3	9.4	134.42	8 385	62.379
平均值					8 499	62.348

表中计算公式: $A = b \times d$, $\sigma_b = P/A$.

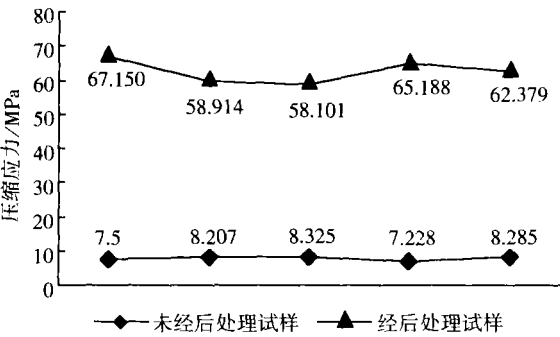


图 1 压缩应力比较图

4.2 拉伸性能

表 2 为烧结件在经树脂增强处理前后的实验

数据. 未经树脂处理的烧结制件的最大荷载为 204.37 N, 断裂伸长为 0.986%, 应力为 4.6964 MPa 而经过树脂处理后的烧结制件的最大荷载为 23 518 N, 断裂伸长为 2.27%, 应力为 21.101 MPa(为未处理的 4.5 倍). 经树脂处理后, 烧结制件所能承受的拉伸荷载成倍地增加 (如图 2 所示).

因为粉末烧结试件的微粒间除熔融粘连外, 亦有大量的空隙存在; 而经树脂处理后的烧结件, 树脂填充了大量的空隙, 烧结件的抗冲击能力提高, 强度改善.

表 2 拉伸性能试验数据

试样类型	编号	宽度 b/mm	厚度 d/mm	横截面积 A/mm^2	断裂负荷 P/N	拉伸断裂应力 σ_b/MPa	断裂伸长量 $G-G_0/mm$	断裂伸长率 $\varepsilon/\%$
未经后处理试样	1	4.1	10	41	184.0	4.488	0.466	0.93
	2	4.1	10	41	204.37	4.985	0.517	1.03
	3	4.1	10	41	203.87	4.972	0.533	1.07
	4	4.1	10	41	191.25	4.665	0.483	0.97
	5	4.1	10	41	179.25	4.372	0.466	0.93
平均值						4.6964		0.986
经后处理加工试样	1	3.8	9.5	36.1	849	23.518	1.233	2.45
	2	3.8	9.6	36.48	824	22.588	1.183	2.37
	3	3.8	9.5	36.1	813.25	22.528	1.134	2.27
	4	3.9	9.5	37.05	758.25	20.466	1.07	2.14
	5	3.9	9.6	37.44	614.25	16.406	0.918	1.84
平均值						21.101		2.27

表中计算公式: $A = b \times d$; $\sigma_b = P/A$; $\varepsilon = [(G - G_0)/G] \times 100\%$.

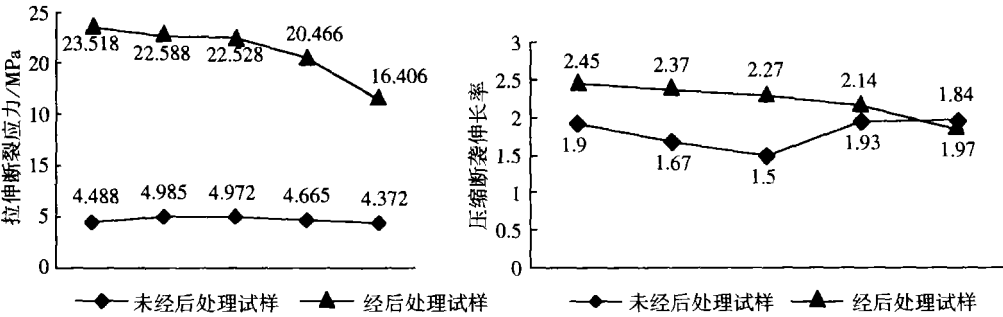


图 2 拉伸断裂应力比较

4.3 弯曲性能测试

试验中, 未处理试样及经后处理试样都在达到规定挠度之前发生了断裂, 故而记录弯曲断裂负荷、弯曲断裂应力以及断裂挠度。

试验数据如表 3 所示. 表 3 的数据表明, 经树脂处理后的烧结件的弯曲性能得到了较大的改善, 约为未经后处理试样性能的 2 7 倍 (如图 3 所示), 可以经受实际组装测试中的冲击。

表 3 弯曲性能试验数据

试样类型	编号	宽度 <i>b</i> /mm	厚度 <i>h</i> /mm	断裂负荷 <i>P</i> /N	弯曲破坏应力 σ_f /MPa	断裂挠度 <i>Y</i> /mm
未经后处理试样	1	9.4	4	18	10.8	1.347
	2	9.5	4	17.9	10.74	1.723
	3	9.3	4	17.375	10.425	1.81
	4	9.7	4	18.825	11.295	1.887
	5	9.6	4	18.885	11.31	1.834
平均值					10.914	1.720
经后处理加工试样	1	9.4	4	43.675	27.878	2.924
	2	9.5	3.9	35.75	23.752	2.76
	3	9.3	3.9	43.275	29.369	2.956
	4	9.7	3.8	43.375	29.757	2.743
	5	9.6	4	36.35	22.719	2.467
平均值					26.695	2.77

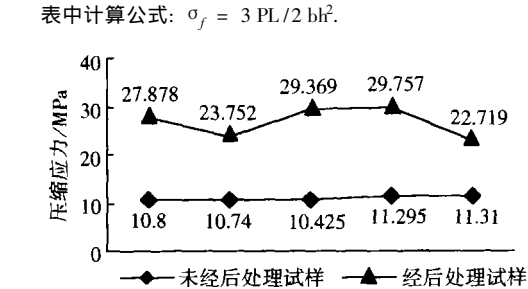


图 3 弯曲破坏应力比较图

5 结论

在激光选区烧结过程中, 由于原型烧结件中空洞和烧结孔隙的存在, 使得烧结件的强度等力学性能较低, 很难达到要求, 经过树脂增强处理后, 烧结件的密度接近于实体密度, 经测试机械性能有了大幅度的提高, 强度得到增强, 基本可以作为功能件使用。

[参考文献]

[1] 白俊生, 赵剑峰, 唐亚新, 等. 激光烧结快速成型试样强度的研究 [J]. 航空精密制造技术, 1997, 33(5): 29

- 31

[2] 林柳兰, 史玉升, 曾繁涤, 等. 高分子粉末烧结件的增强后处理的研究 [J]. 功能材料, 2003 34(1): 67-68

[3] 林柳兰, 史玉升, 曾繁涤, 等. 树脂增强 SLS 烧结件的研究 [J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2003 31(3): 99-101.

[4] 姚德超. 粉末冶金实验技术 [M]. 北京: 冶金出版社, 1990

[5] Childs T H, Berzins M. Selective laser sintering of an amorphous polymers simulations and experiments [J]. Proc Instn Mech Engis, 1999, 213B: 333-349

[6] Nelson J C, Vail N K, Sun M M, et al. Post-Processing of Selective Laser Sintered Polycarbonate Parts [M]. Austin In Solid Freeform Fabrication Symposium Proceedings, 1991: 78-85

[7] Lakshminarayan U, McAllea K. An Experimental Study of the Relationship between Microstructure and Mechanical Properties of Ceramic Composite Fabrication by Selective Laser Sintering [M]. Austin Proceedings of Solid Freeform Fabrication Symposium, 1992

[责任编辑: 刘健]