

聚碳酸酯粉末的选择性激光烧结成型

汪 艳

史玉升 黄树槐

(武汉工程大学材料科学与工程学院, 武汉 430073) (华中科技大学塑性成形模拟及模具技术国家重点实验室, 武汉 430074)

摘要 以聚碳酸酯(PC)粉末为烧结材料,研究了激光功率等工艺参数对PC烧结件的微观形态、密度和力学性能的影响规律。结果表明,PC烧结件的密度、拉伸强度及拉伸弹性模量、冲击强度均随激光功率增加而增大;但过高的激光功率会导致激光扫描区域的粉末过热,使PC烧结件产生颜色变黄、轮廓不清晰等缺陷。

关键词 选择性激光烧结 聚碳酸酯 激光功率

选择性激光烧结(SLS)技术是采用激光作为热源来烧结粉末材料使之成型的一种快速成型(RP)技术^[1]。利用该技术可将粉末材料直接成型为任意复杂形状与结构的制品,而不需要任何工装模具。该技术在新产品的研制开发、模具制造、小批量产品的生产等方面均显示出广阔的应用前景^[2,3]。

聚碳酸酯(PC)是一种综合性能优良的工程塑料,也是研究报道较多的一种激光烧结高分子材料。1993年美国DTM公司的P. P. Denucci^[4]将PC粉末用作激光烧结材料,发现PC粉末在快速制作薄壁和精密零件,复杂零件,需要耐高、低温的零件方面与熔模铸造用蜡相比具有很大的优势。1996年C. L. Atwood等^[5]也对PC粉末采用SLS技术制作熔模铸造零件进行了研究,从烧结件的精度、表面粗糙度及后处理等方面讨论了采用PC粉末的可行性,使PC粉末的激光烧结件在熔模铸造方面获得成功应用。为了合理控制烧结工艺参数,提高PC烧结件的精度和性能,许多学者对PC粉末在烧结中的温度场进行了研究,提出了采用不同的模型来模拟PC粉末在激光烧结过程中能量的传递、热量的传输和一些相关问题^[6~10]。香港大学的H. C. H. Ho等^[11~13]探讨了DTM公司的PC烧结材料在制备塑料功能件方面的应用。但国内对激光烧结高分子材料研究较少,成为制约我国SLS技术发展应用的瓶颈,笔者以国产PC粉末为烧结材料,研究其烧结工艺和烧结件性能。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PC粉末:Pg-3,五矿常州合成化工总厂;
抗氧化剂:1010、168,工业品,市售。

1.2 主要设备与仪器

快速成型机:HRPS-Ⅲ型,华中科技大学;
高速混合机:SHR-10C型,泽琦机械有限公

司;

电子万能试验机:WDW-50型,深圳市凯强利机械有限公司;

简支梁冲击试验机:XJJ-5J型,河北省承德市试验机厂;

扫描电子显微镜(SEM):JSM-5510LV型,日本电子公司。

1.3 试样制备

将PC粉末与复合抗氧化剂于高速混合机中混合均匀制得粉末烧结材料,将粉末烧结材料在快速成型机上直接制备各种形状的标准试样。

1.4 性能测试

表观密度按GB/T 6343-1995测试;

拉伸性能按GB/T 1040-1992测试;

冲击强度按GB/T 1043-1993测试。

微观相态结构:将试样冲击断面经喷金处理后,用SEM观察试样的断面形貌并拍照。

2 结果与讨论

2.1 PC粉末烧结工艺参数的确定

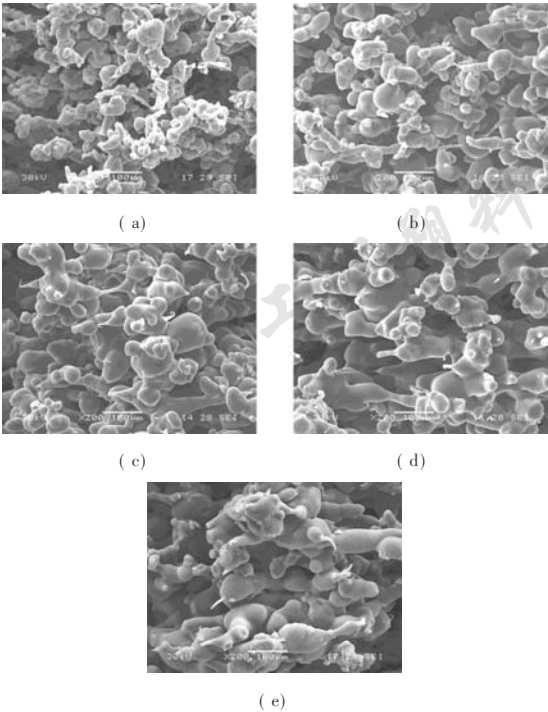
SLS工艺参数主要有激光功率、光斑大小、扫描间距、扫描速度、单层厚度、粉床预热温度等。对于特定的SLS成型设备,激光的光斑大小是一定的。激光扫描间距影响输送给粉末的能量分布,为了使激光能量分布均匀,扫描间距应小于光斑半径,但过小的扫描间距将影响成型速度,本实验将扫描间距定为0.1 mm。扫描速度决定激光对粉末材料的加热时间,扫描速度小则成型速度低,本实验取1 500 mm/s。单层厚度指铺粉厚度,即工作缸下降一层的高度。对于某一制件,采用较大的单层厚度,所需制造的总层数就少,制造时间也短。但由于激光在粉末中的透射强度随厚度的增加而急剧下降,若单层

厚度过大,会导致层与层之间粘结不好,甚至出现分层,严重影响烧结件的强度,本实验单层厚度取0.15 mm。粉床预热温度对烧结过程影响很大,预热温度低时,激光作用区域与相邻区域温度梯度大,烧结件易产生翘曲变形,翘曲严重时铺粉辊会将烧结件带走,导致烧结过程不能正常进行;预热温度过高则导致粉末结块,铺粉困难。实验表明 PC 烧结的最佳粉床预热温度为 140℃。

2.2 激光功率对 PC 烧结件断面形态的影响

按 2.1 中确定的最佳工艺参数,只改变激光功率,重点考察激光功率对烧结件的影响。

图 1 是在不同激光功率下制备的 PC 烧结试样的断面 SEM 照片。



a—6 W; b—7.5 W; c—9 W; d—10.5 W; e—12 W

图 1 不同激光功率时 PC 烧结试样断面 SEM 照片

当激光功率较低时,如图 1a, PC 粉末粒子仅在相互接触的部位轻微地烧结在一起,单个粉末粒子仍保持原来的形状。随激光功率增加,如图 1b, PC 粉末粒子的形状发生了较明显变化,粒子从原来的不规则形状变得接近于球形,表面变得光滑。因为随激光功率提高,粉末吸收的能量增加,温度升高较多,在玻璃化转变温度(T_g) 以上, PC 的表观粘度随温度升高迅速降低,大分子链段活动能力增强,在表面张力的作用下,颗粒趋于球形化,表面也变光滑。继续增加激光功率,如图 1c ~图 1e, 烧结颈明显增

长,小粒子合并成大粒子,孔隙变小,致密度提高。
2.3 激光功率对 PC 烧结件密度和力学性能的影响

PC 烧结件的密度和力学性能随激光功率的变化如表 1 所示。

表 1 PC 烧结件的密度和力学性能

激光功率 /W	密度 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	拉伸强度 /MPa	断裂伸长 / 率 /%	拉伸弹性 模量 /MPa	冲击强度 / $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$
6	0.257	0.39	52.1	2.19	0.92
7.5	0.343	1.32	35.6	7.42	1.37
9	0.384	1.89	32.8	10.62	2.14
10.5	0.416	2.04	31.4	13.24	2.81
12	0.445	2.18	30.7	15.97	2.98
13.5	0.463	2.29	30.1	17.13	3.13

从表 1 可以看出, PC 烧结件的密度、拉伸强度、拉伸弹性模量和冲击强度均随激光功率的增加而提高,断裂伸长率则相反,随激光功率的增加而下降。当激光功率从 6 W 增加至 13.5 W 时, PC 烧结件的密度从 0.257 g/cm^3 增加至 0.463 g/cm^3 , 拉伸强度从 0.39 MPa 增加至 2.29 MPa, 分别增加了 80% 和 487%。继续增加激光功率,虽然还能进一步提高烧结件密度,但当激光功率为 13.5 W 时,烧结件颜色已明显变黄,表明 PC 已发生部分降解,不宜继续增加激光功率。

由此可知, PC 烧结件的强度主要受烧结件中孔隙率大小的影响,烧结件的密度越大,其强度越高。加大激光功率可以使 PC 粉末更好地烧结,从而可提高烧结件的密度,但过高的能量输入会使激光束直接照射下的粉末产生过热,加剧 PC 的热氧化,造成烧结件变色;同时由于传热作用导致扫描区域以外的粉末粘附在烧结件上,使烧结件失去清晰的轮廓,影响成型精度。

因此,优化烧结工艺参数只能在一定程度上提高 PC 烧结件的密度及力学性能,并不能从根本上消除烧结件的孔隙率。

2.4 激光功率对 PC 烧结件精度的影响

将 PC 粉末用激光烧结成 50 mm ×50 mm ×4 mm 的方块。烧结件在 X 方向和 Y 方向的尺寸误差随激光功率的变化如图 2 所示。

从图 2 可知, PC 烧结件的尺寸误差为负值。尺寸误差为负值是由于 PC 粉末在烧结过程中产生收缩引起的。当激光功率很小时,烧结件的尺寸误差较大,因为过低的激光功率不足以使 PC 粉末粒子产生良好的粘结,试样的边缘部位尤其如此,因此烧

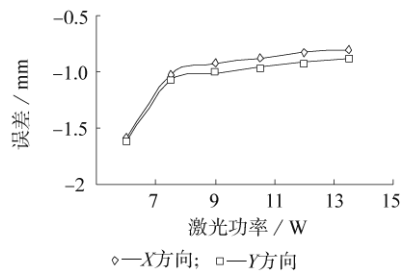


图2 PC 烧结件的尺寸精度

烧结件的尺寸小于激光扫描的范围。随激光功率增加,试样边缘部位的烧结情况得以改善,尺寸误差减小。PC 材料的成型收缩率并不大,烧结件产生较大的收缩与所用的粉末表观密度过低有关。由于 PC 粉末的起始密度很低,烧结时产生较大的致密化作用,因此产生了较大的收缩。Y 方向的尺寸误差稍大于 X 方向,这可能与非球形粉末在沿 X 方向运动的铺粉辊作用下产生定向有关,粉末在 X 方向排列相对较紧密,烧结收缩率较小。

由材料收缩产生的尺寸误差可通过在 SLS 成型设备上调整 X 方向和 Y 方向的比例系数来补偿,因此可制得高精度的 PC 烧结件。

3 结论

SLS 工艺参数对 PC 烧结件的性能有较大影响,PC 烧结件的密度、拉伸强度及拉伸弹性模量、冲击强度均随激光功率增大而提高。但过高的激光功率导致激光扫描区域的粉末过热,使 PC 烧结件产生颜色变黄、轮廓不清晰等缺陷。因此,优化工艺参数可在一定范围内提高 PC 烧结件的密度和力学性能,但并不能从根本上消除烧结件的孔隙率。

参考文献

- 1 Deckard C R. Method and apparatus for producing parts by selective sintering. USP 4863538. 1989-09-05
- 2 Steven A. Prototyping with advanced tools. Mechanical Engineering, 1993, 116(6): 48
- 3 黄树槐,肖跃加,莫健华,等.快速成型技术的展望.中国机械工程, 2000, 11(1-2): 195
- 4 Denucci P P. New process creates prototyping-fast. Foundry Management & Technology, 1993, 121(11): 22
- 5 Atwood C L, Maguire M C, Pardo B T, et al. Rapid prototyping application for manufacturing. SAMPE Journal, 1996, 32(1): 55
- 6 Nelson J C, Xue S, Barlow J W, et al. Model of the selective laser sintering of bisphenol-A polycarbonate. Industrial & Engineering Chemistry Research, 1993, 32: 2305
- 7 Berzins M, Child T H C. The selective laser sintering of polycarbonate. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 1996, 45(1): 187
- 8 Childs T H C, Berzins M, Ryder G R, et al. Selective laser sintering of an amorphous polymer-simulations and experiments. Proceedings of Institution of Mechanical Engineering, 1999, 213: 333
- 9 Williams J D, Deckard C R. Advances in modeling the effects of selected parameters on the SLS process. Rapid Prototyping Journal, 1998, 4(2): 90
- 10 赵保军,施法中.选择性激光烧结 PC 粉末的建模研究.北京航空航天大学学报, 2002, 28(6): 660
- 11 Ho H C H, Gibson I, Cheung W L. Effects of energy density on morphology and properties of selective laser sintered polycarbonate. Journal of Materials Processing Technology, 1999, 89-90: 204
- 12 Ho H C H, Cheung W L, Gibson I. Morphology and properties of selective laser sintered bisphenol-A polycarbonate. Industrial and Engineering Chemistry Research, 2003(9): 1850
- 13 Ho H C H, Cheung W L, Gibson I. Effects of graphite powder on the laser sintering behaviour of polycarbonate. Rapid Prototyping Journal, 2002, 8(4): 233

SELECTIVE LASER SINTERING OF POLYCARBONATE POWDER

Wang Yan

(Department of Materials Science and Engineering, Wuhan Institute of Chemical Technology, Wuhan 430073, China)

Shi Yusheng, Huang Shuhuai

(State Key Laboratory of Plastic Forming Simulation and Die & Mould Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

ABSTRACT Polycarbonate powder was used as material of selective laser sintering (SLS). The effects of sintering parameters such as laser power on the morphology, physical density and mechanical properties of the sintered specimens were investigated. The result showed that the density, tensile strength and modulus, impact strength of sintered specimens improved with the increasing of laser power. However, excessive laser power could result in sintering product yellowing and surface roughened due to overheating powder in the laser scanned area.

KEYWORDS selective laser sintering, polycarbonate, laser power