

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.07.010

选区激光烧结 PS/PE 工艺参数及配比实验

杨来侠,王勃,徐超

(西安科技大学机械工程学院,西安 710054)

摘要:针对纯聚苯乙烯(PS)选区激光烧结(SLS)成型件强度较差的缺陷,使用机械混合的方式制备了PS/聚乙烯(PE)混合粉末材料。在模型分层厚度0.25 mm、激光功率30 W、轮廓扫描速度3 000 mm/s等因素不变的条件下,分别研究了填充扫描速度、预热温度、扫描间距对烧结件弯曲强度及厚度方向(Z向)尺寸精度的影响,在此基础上通过正交试验和极差分析优选出了最佳工艺参数组合;并在最佳工艺参数组合下研究了PS与PE配比对烧结件弯曲强度及Z向尺寸精度的影响。结果表明,在实验范围内,填充扫描速度对PS/PE混合粉末烧结件的弯曲强度和Z向尺寸精度的影响最大,预热温度对其影响最小。最佳的工艺参数组合为填充扫描速度1 600 mm/s,预热温度85℃,扫描间距0.30 mm;在该工艺参数组合下PS/PE混合粉末最优配比为9:1,此时烧结件的弯曲强度可达8.91 MPa,Z向尺寸相对偏差绝对值仅为0.65%,与相同条件下的纯PS相比明显改善。

关键词:选区激光烧结;聚苯乙烯;聚乙烯;工艺参数;材料配比

中图分类号: TQ322.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)07-0051-06

Technological Parameters and Proportion of Selected Laser Sintered PS/PE

Yang Laixia, Wang Bo, Xu Chao

(College of Mechanical Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: Polystyrene (PS)/polyethylene (PE) mixed powder was prepared by mechanical mixing in order to overcome the poor strength of the pure PS selective laser sintering (SLS) molding parts. Keeping the thickness of the model in the sintering process 0.25 mm, the laser power 30 W and the contour scanning speed 3 000 mm/s, the effects of filling scanning speed, preheating temperature and scanning interval on the bending strength and Z-dimension precision of sintered parts were studied. The optimum combination of process parameters were selected by orthogonal test and range analysis, and the effect of material ratio on bending strength and Z dimensional precision of PS/PE sintered parts was studied. The results show that the effect of filling scanning speed on the bending strength and Z dimension precision of PS/PE mixed powder sintered parts is the most in the experimental range, and the effect of preheating temperature on it is the least. The optimum process parameters are as follows: filling speed 1 600 mm/s, preheating temperature 85℃ and scanning distance 0.30 mm. The optimum ratio of PS/PE mixed powder is 9:1 under the combined process parameters. The bending strength of sintered parts can reach 8.91 MPa, and the absolute value of Z dimension deviation is only 0.65%. Compared with pure PS under the same conditions, the bending strength and Z relative dimension deviation are obviously improved.

Keywords: selective laser sintering; polystyrene; polyethylene; process parameter; material ratio

选区激光烧结技术(SLS)作为目前快速成型领域应用最为广泛的技术之一,它是基于模型离散-堆积思想,将三维模型二维化,根据模型的截面信息在计算机的作用下控制激光有选择地照射热熔性材

料,层层烧结累加直至模型加工完成^[1-3]。实际生产中常将SLS工艺与熔模铸造工艺相结合,利用SLS工艺快速制作出铸造原型,进而快速浇铸出零件^[4]。为了尽可能地提高铸造零件的质量,要求铸造原型

基金项目: 国家863计划(2015AA042503)

通讯作者: 杨来侠,教授,博导,主要从事快速成型与模具制造方面的研究 E-mail: 1078654261@qq.com

收稿日期: 2018-04-26

引用格式: 杨来侠,王勃,徐超. 选区激光烧结PS/PE工艺参数及配比实验[J]. 工程塑料应用,2018,46(7):51-56.

Yang Laixia, Wang Bo, Xu Chao. Technological parameters and proportion of selected laser sintered PS/PE[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(7):51-56.

的材料具有溶解残留灰分低的特质,因此 SLS 工艺中一般常选用高分子有机材料作为烧结材料^[5]。

在众多的有机高分子材料中,聚苯乙烯 (PS) 粉末因其具有较好的流动性、收缩率较小、吸湿率低等优点,在 SLS 工艺中得到了一定的应用^[6-7]。但是在在大尺寸复杂模型制作中纯 PS 烧结件的强度及精度往往很难达到使用要求^[8]。聚乙烯 (PE) 粉末作为常用的高分子有机材料之一,其具有较低的熔点,较好的耐冲击性能,常与其它高分子有机材料进行共混使用^[9]。PE 与 PS 具有较为优良的相容性,两者共混方式简单,效果优良^[10]。鉴于此特征,笔者使用机械混合方式制备了 PS/PE 混合粉末材料;分别研究了填充扫描速度、预热温度、扫描间距对烧结件弯曲强度和厚度方向 (Z 向) 尺寸精度的影响,在此基础上通过正交试验和极差分析优选出了最佳工艺参数组合;并在最佳工艺参数组合下研究了 PS 与 PE 配比对烧结件弯曲强度及 Z 向尺寸精度的影响。

1 实验部分

1.1 主要材料

PS 粉末: KM-503, 平均粒径为 75 μm , 东莞市科迈新材料有限公司;

PE 粉末: GRSN-9820 NT 7 P, 平均粒径为 75 μm , 美国陶氏化学公司。

1.2 主要设备与仪器

电子天平秤: MS32001L 型, 深圳市盛美仪器有限公司;

数显式游标卡尺: 91511 型, 量程 150 mm, 世达工具 (上海) 有限公司;

高速混合机: SHR-50A 型, 莱州隆和化工机械有限公司;

标准筛分机: 600 型, 新乡市东汉机械有限公司;

激光快速成型机: XJRPSLS300 型, 陕西恒通智能机器有限公司;

万能材料伺服试验机: WH-5000 型, 宁波市镇海伟恒检测仪器有限公司。

1.3 试样制备

在前期大量的基础性实验中, 笔者发现, 在 SLS 烧结件的水平方向, 即 X 向和 Y 向成型尺寸精度仅与材料本身的特性有关, 烧结工艺参数对其影响并不明显^[11], 因此在讨论分析工艺参数对烧结件精度的影响规律时, 常选用烧结件的竖直厚度方向, 即 Z

向尺寸精度作为衡量指标。另一方面, SLS 烧结模型在使用过程中大多受到弯曲应力作用, 很少受到明显的拉伸及冲击作用, 因此衡量 SLS 烧结件成型强度时, 常选用弯曲强度作为衡量指标^[12]。

(1) PS/PE 混合粉末制备。

利用电子天平秤根据一定比例分别将 PS 和 PE 放入高速混合机中以 1500 r/min 的转速混合 10 min, 将混合后的粉末放入滤网孔径为 150 μm 的标准筛分机中进行筛分, 得到平均粒径在 100 ~ 150 μm 的 PS/PE 混合粉末, 该粉末粒径满足 SLS 烧结实验的基本要求^[13]。

(2) PS/PE 烧结试样制备。

利用激光快速成型机参照 GB/T 1447-2005 烧结尺寸为 80 mm × 10 mm × 4 mm 的标准弯曲强度测试件, 为了排除非必要因素的影响, 减小实验误差, 同一组工艺参数下同时烧结 5 个测试样件。

1.4 测试与表征

弯曲强度: 按照 GB/T 1447-2005 采用三点弯曲试验来测量, 跨距为 64 mm, 支撑辊和施力辊均为 5 mm, 加力速度为 2 mm/s, 测出烧结件的最大弯曲应力, 然后按照式 (1) 计算烧结件的弯曲强度^[14], 取每组 5 个烧结件的弯曲强度均值。

$$\sigma = \frac{3FL}{bh} \quad (1)$$

式中: σ ——烧结件的弯曲强度, MPa;

F ——烧结件的最大弯曲应力, kN;

L ——三点弯曲测试标距, mm;

b ——烧结件宽度, mm;

h ——烧结件高度, mm。

Z 向尺寸精度计算: 烧结件 Z 向尺寸精度可用烧结件 Z 向尺寸相对误差绝对值进行衡量, 相对误差绝对值越小, 说明 Z 向尺寸精度越高, 烧结件的实测尺寸为同组 5 个试样尺寸的均值, Z 向尺寸相对误差绝对值可按式 (2) 进行计算^[15]。

$$\delta = \frac{|A_1 - A_0|}{A_0} \quad (2)$$

式中: δ ——Z 向尺寸的相对误差绝对值;

A_1 ——烧结件的实测尺寸;

A_0 ——烧结件的模型尺寸。

2 结果与讨论

2.1 单因素实验分析

笔者从相关基础性实验研究中发现, 当 PS/PE 混合粉末材料烧结效率较高、质量较优时的工艺

参数组合为:填充扫描速度 2000 mm/s,预热温度 80℃和扫描间距 0.30 mm。在室温环境下,固定 PS 与 PE 的质量比为 9 : 1,设定烧结模型分层厚度 0.25 mm,激光功率 30 W,轮廓扫描速度 3000 mm/s,通过控制变量法分别研究了填充扫描速度、预热温度和扫描间距对烧结件弯曲强度及 Z 尺寸精度的影响。

(1) 填充扫描速度。

填充扫描速度决定着单位体积中粉末颗粒在单位时间内接受激光能量的多少,进而决定了粉末材料的熔化程度。不同填充扫描速度对烧结件弯曲强度及 Z 向尺寸精度的影响规律如图 1 所示。

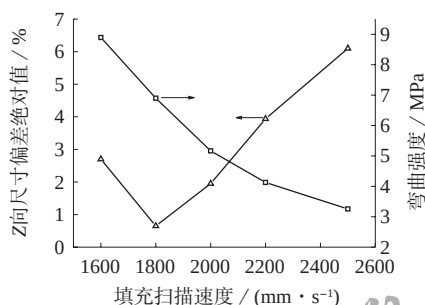


图1 不同填充扫描速度下烧结件弯曲强度及 Z 向尺寸精度

从图 1 可以看出,烧结件的弯曲强度随着填充扫描速度的提高而减小;而当填充扫描速度在 1600 ~ 1800 mm/s 时,烧结件 Z 向尺寸偏差绝对值随着填充扫描速度的提高而减小,当填充扫描速度大于 1800 mm/s 时,烧结件 Z 向尺寸偏差绝对值出现了明显的增大。这是因为烧结件弯曲强度的大小与粉末材料的熔化程度有着密切的关系,材料熔化越充分弯曲强度值越高,而填充扫描速度与材料熔化程度成反比,所以烧结件的弯曲强度随着填充扫描速度的提高而减小;同时在填充扫描速度过低时,由于激光能量的作用烧结件容易出现“过烧结”现象,会导致烧结件 Z 向尺寸偏差绝对值较大,相反的是当填充扫描速度过高时容易出现“欠烧结”现象,导致烧结件底层粘接不牢固,从而导致烧结件 Z 向尺寸偏差绝对值急剧变大。在实验中发现当填充扫描速度大于 2200 mm/s 时,烧结件弯曲强度和 Z 向尺寸精度均急剧变差,失去应用价值;因此填充扫描速度选取 1600,1800,2000 mm/s 作为正交试验中的 3 个试验水平值。

(2) 预热温度。

预热温度决定着粉末材料在烧结前表面能的高低,它是影响烧结件烧结质量的重要因素之一,不

同预热温度对烧结件弯曲强度及 Z 向尺寸精度的影响规律如图 2 所示。

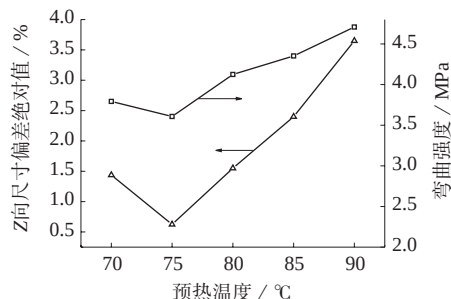


图2 不同预热温度下烧结件弯曲强度及 Z 向尺寸精度

从图 2 可以看出,预热温度对烧结件弯曲强度和 Z 向尺寸精度的影响规律一致。在预热温度低于 75℃时,烧结件弯曲强度和 Z 向尺寸偏差绝对值均出现小幅下降;预热温度高于 75℃时烧结件弯曲强度和 Z 向尺寸偏差绝对值急剧增大。这是因为预热温度过低时由于粉体表面温度与激光烧结温度相差较大,容易造成烧结件错层、翘曲等现象,并且在烧结件内部可能会产生少许的热应力,故当预热温度低于 75℃时烧结件弯曲强度和 Z 向尺寸偏差绝对值均出现小幅下降;当预热温度过高时,粉末颗粒表面出现微融现象,粉末颗粒之间的融合效果变好,烧结件弯曲强度增高,但是烧结件底层容易出现粉末粘连现象,会导致烧结件 Z 向尺寸偏差绝对值急剧变大,所以当预热温度高于 75℃时烧结件弯曲强度和 Z 向尺寸偏差绝对值均发生急剧增大。在实验中发现,当预热温度为 70℃时,烧结件错层明显, Z 向尺寸偏差绝对值较大,弯曲强度较低;当预热温度为 90℃时,烧结件底层粘连现象严重, Z 向尺寸精度急剧变差。所以预热温度选取 75,80,85℃作为正交试验中的 3 个试验水平值。

(3) 扫描间距。

扫描间距指的是相邻激光扫描路径之间的距离。不同扫描间距对烧结件弯曲强度及 Z 向尺寸精度的影响规律如图 3 所示。

从图 3 可以看出,烧结件弯曲强度整体上随着扫描间距的增大呈逐渐减小趋势;而烧结件 Z 向尺寸相对偏差在扫描间距小于 0.30 mm 时急剧减小,当扫描间距大于 0.30 mm 时缓慢减小而后逐渐增大。这是因为实验所使用的快速成型机的激光光斑直径为 0.30 mm,所以当扫描间距过小时重复烧结率增高,材料熔化程度提高,烧结件弯曲强度进一步提高,但是由此带来烧结件严重的粘粉现象,使得烧

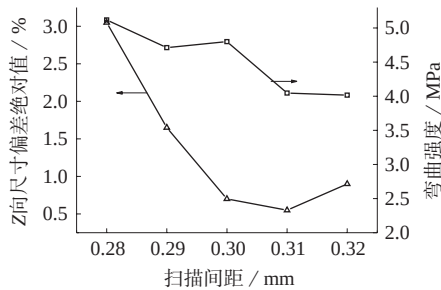


图3 不同扫描间距下烧结件弯曲强度及Z向尺寸精度

烧结件Z向尺寸精度急剧变差;当扫描间距过大时,粉末熔化程度降低,烧结不充分,进而导致烧结件烧结强度变低,烧结件产生一定的掉粉现象,所以在扫描间距大于0.30 mm时,烧结件Z向尺寸偏差绝对值先缓慢减小而后逐渐增大。在实验中发现,当扫描间距为0.28 mm时,烧结件重复烧结率明显提高,烧结件局部出现碳化现象,烧结件Z向尺寸精度极差;当扫描间距为0.32 mm时,烧结件弯曲强度较差,掉粉现象严重,因此在保证烧结件同时具有较高的弯曲强度和较好的尺寸精度等条件下,优选扫描间距0.29,0.30,0.31 mm作为正交试验中的3个试验水平值。

2.2 工艺参数优化分析

(1) 正交试验。

将工艺参数中的填充扫描速度(A)、预热温度(B)和扫描间距(C)作为正交试验变量,在上述单因素实验得到各自变量的3个试验水平的基础上,进行“三因素三水平”正交试验,正交试验因素水平如表1所示,试验方案安排及结果如表2所示。从表2可以看出,在正交试验范围内,PS/PE混合粉末烧结件的弯曲强度为4.88~8.61 MPa,Z向尺寸相

表1 正交试验因素水平设置

水平	A/(mm·s ⁻¹)	B/℃	C/mm
1	1600	75	0.29
2	1800	80	0.30
3	2000	85	0.31

表2 正交试验方案安排及试验结果

试验号	A/(mm·s ⁻¹)	B/℃	C/mm	弯曲强度/MPa	Z向尺寸相对偏差绝对值/%
1	1600	75	0.29	7.51	1.10
2	1600	80	0.30	8.28	1.45
3	1600	85	0.31	8.61	0.95
4	1800	75	0.30	7.18	1.10
5	1800	80	0.31	6.35	2.25
6	1800	85	0.29	6.43	1.40
7	2000	75	0.31	4.88	3.75
8	2000	80	0.29	5.67	3.20
9	2000	85	0.30	5.92	2.45

对误差绝对值为0.95%~3.75%。

(2) 极差分析。

在正交试验的基础上进行极差分析,可得到不同工艺参数对PS/PE混合粉末烧结件弯曲强度和Z向成型精度的影响规律,并在此基础上分别以烧结件弯曲强度和Z向成型精度作为衡量指标进行工艺参数优选,得出各自对应的最优工艺参数组合。将同一因素水平下的三个实验值之和作为该因素水平的均值 K_i , $i=1,2,3$ 。在相同的实验因素下,实验结果的极差R值越大,说明该实验因素对实验结果的影响程度越大。

PS/PE混合粉末烧结件弯曲强度和Z向尺寸精度的极差分析结果如表3和表4所示。将各因素水平作为横坐标,其相对应因素水平的K值作为纵坐标得到PS/PE混合粉末烧结件弯曲强度和Z向尺寸精度K值与各因素水平之间的关系曲线,分别如图4和图5所示。

表3 烧结件弯曲强度极差分析结果

项目	A	B	C
K_1	24.40	19.57	19.61
K_2	19.96	20.30	21.38
K_3	16.47	20.96	19.84
R	7.93	0.99	1.77

表4 烧结件Z向尺寸精度极差分析结果

计算值	A	B	C
K_1	3.50	5.95	5.70
K_2	4.75	6.90	5.00
K_3	9.40	4.80	6.95
R	5.90	1.10	1.95

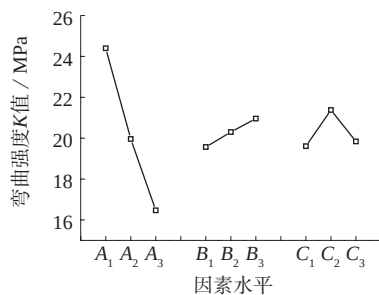


图4 烧结件弯曲强度K值与各因素水平的关系曲线

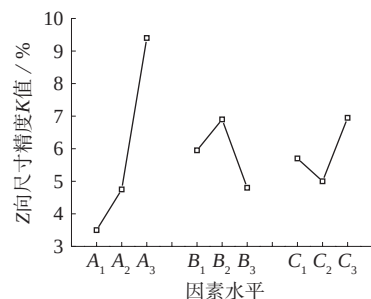


图5 烧结件Z向尺寸精度K值与各因素水平的关系曲线

通过表 3 和表 4 可以看出, $R_A > R_C > R_B$, 即对 PS/PE 混合粉末烧结件弯曲强度和 Z 向尺寸精度而言, 各工艺参数对其的影响程度是一致的, 填充扫描速度对烧结件弯曲强度和 Z 向尺寸精度的影响程度最大, 扫描间距次之, 预热温度对其的影响程度最小。

对于 PS/PE 混合粉末烧结件弯曲强度而言, 弯曲强度 K 值越大, 说明该因素水平下烧结件弯曲强度值越高; 即最大弯曲强度 K 值对应的工艺参数最优, 因此结合图 4 可以得到以烧结件弯曲强度作为衡量指标的工艺参数组合为 $A_1B_3C_2$, 即填充扫描速度 1600 mm/s, 预热温度 85℃, 扫描间距 0.30 mm。对于烧结件 Z 向尺寸精度而言, Z 向尺寸精度 K 值越小, 说明该条件下 Z 向尺寸偏差绝对值越小, 成型精度越高, 因此结合图 5 可以得到当烧结件 Z 向尺寸精度最优时的工艺参数组合同样为 $A_1B_3C_2$ 。

2.3 PS/PE 混合粉末配比优选

使用上述最佳工艺参数对 PS/PE 混合粉末进行烧结实验, 研究了 PS 与 PE 配比对烧结件弯曲强度和 Z 向尺寸成型精度的影响, 结果如图 6 所示。从图 6 可以看出, 纯 PS 烧结件的弯曲强度和 Z 向尺寸偏差绝对值分别为 8.36 MPa 和 1.75%。当 PS/PE 混合粉末烧结件弯曲强度最大、Z 向尺寸精度最优时, PS/PE 混合粉末中的材料配比为 9 : 1, 即 PE 的含量为 10%, 此时 PS/PE 混合粉末烧结件弯曲强度可达 8.91 MPa, 较同等条件下的纯 PS 烧结件提高 6.5%; Z 向尺寸偏差绝对值仅为 0.65%, 较同等条件下的纯 PS 烧结件降低 62.86%。

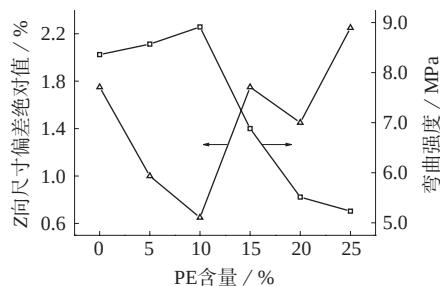


图6 不同PE含量时烧结件弯曲强度及Z向成型精度

3 结论

(1) 通过极差分析可知, 各工艺参数对 PS/PE 混合粉末烧结件弯曲强度和 Z 向尺寸精度的影响程度是一致的; 即填充扫描速度对烧结件弯曲强度和 Z 向尺寸精度的影响程度最大, 扫描间距次之, 预热

温度对其影响程度最小。

(2) 在实验范围内, 当 PS/PE 混合粉末烧结件同时具有较高弯曲强度和较好 Z 向尺寸精度时, PS/PE 混合粉末烧结件的最佳烧结工艺参数组合为: 填充扫描速度 1600 mm/s, 预热温度 85℃, 扫描间距 0.30 mm。

(3) 在上述最佳工艺条件下, PS/PE 混合粉末配比为 9 : 1 时, 烧结件的弯曲强度和 Z 向尺寸偏差较同等条件下的纯 PS 烧结件明显改善。

参考文献

- [1] 贾礼宾, 王修春, 王小军, 等. 选择性激光烧结技术研究与应用进展 [J]. 信息技术与信息化, 2015(11):172-175.
Jia Libin, Wang Xiuchun, Wang Xiaojun, et al. The research and application progress of selected laser sintering technology[J]. Information Technology and Informatization, 2015(11):172-175.
- [2] 赵松, 龚林. 选择性激光烧结尼龙 12 / 碳酸钙复合材料的成型工艺 [J]. 工程塑料应用, 2017, 45(1):61-64, 75.
Zhao Song, Gong Lin. Forming process of selective laser sintering nylon 12 / calcium carbonate composite[J]. Engineering Plastics Application, 2017, 45(1):61-64, 75.
- [3] 夏建强, 王明杰. 选择性激光烧结成型工艺参数研究 [J]. 铸造技术, 2017, 38(7):1678-1680.
Xia Jianqiang, Wang Mingjie. Study on selective laser sintering molding process parameter[J]. Foundry Technology, 2017, 38(7):1678-1680.
- [4] 夏建强, 常峰, 李雨. 选择性激光烧结技术在熔模铸造中的应用 [J]. 铸造技术, 2017, 38(5):1238-1240.
Xia Jianqiang, Chang Feng, Li Yu. Application of selective laser sintering technology in investment casting process[J]. Foundry Technology, 2017, 38(5):1238-1240.
- [5] 吴琼, 陈惠, 巫静, 等. 选择性激光烧结用原材料的研究进展 [J]. 材料导报, 2015, 29(S2):78-83.
Wu Qiong, Chen Hui, Wu Jing, et al. Research development of the material used for selective laser sintering[J]. Materials Review, 2015, 29(S2):78-83.
- [6] 杨来侠, 刘旭. PS 粉的选择性激光烧结成型工艺实验 [J]. 塑料, 2016, 45(1):100-103.
Yang Laixia, Liu Xiu. Processing experiment of selective laser sintering for PS powde[J]. Plastics, 2016, 45(1):100-103.
- [7] 刘旭. 基于选区激光烧结的聚苯乙烯成型工艺及改性研究 [D]. 西安: 西安科技大学, 2016.
Liu Xu. Research on molding process and modification of polystyrene based on selective laser sintering[D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2016.
- [8] 杨来侠, 陈梦瑶, 赵贞慧. 气相沉积 CF 改性 PS 的选择性激光烧结 [J]. 工程塑料应用, 2017, 45(9):52-56.
Yang Laixia, Chen Mengyao, Zhao Zhenhui. Selective laser

- sintering experiment of polystyrene modified by vapor deposited CF[J]. Engineering Plastics Application, 2017, 45(9):52-56.
- [9] 肖泽锋, 杨永强, 宋长辉, 等. 激光选区烧结超高分子量聚乙烯工艺及性能 [J]. 光学精密工程, 2016, 24(3):502-510.
- Xiao Zefeng, Yang Yongqiang, Song Changhui, et al. Process and properties of selective laser sintering ultrahigh molecular weight polyethylene[J]. Optics and Precision Engineering, 2016, 24(3):502-510.
- [10] 武壮, 张春祥, 应良日, 等. 聚苯乙烯 / 高密度聚乙烯复合材料相容性改善方法综述 [J]. 广东化工, 2016, 43(22):105-106.
- Wu Zhuang, Zhang Chunxiang, Ying Liangri, et al. Review on compatibility improvement of polystyrene / high density polyethylene composites[J]. Guangdong Chemical Industry, 2016, 43(22):105-106.
- [11] 杨来侠, 王勃, 杨繁荣. 工艺参数对 PS / CF 混合粉末 SLS 烧结件尺寸精度的影响 [J]. 工程塑料应用, 2018, 46(3):44-49.
- Yang Laixia, Wang Bo, Yang Fanrong. Effect of process parameters on the dimensional accuracy of PS / CF hybrid powder selective laser sintering[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(3):44-49.
- [12] 武帅. PA6 粉末选区激光烧结应力和力学性能的研究 [D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2015.
- Wu Shuai. Study on stress and mechanical property of PA6 powder in Selective Laser Sintering[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2015.
- [13] Yang Laixia, Wang Bo, Zhou Wenming. Study on selective laser sintering of glass fiber reinforced polystyrene[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017, 274:1-6.
- [14] 赵贞慧. 基于选区激光烧结的聚苯乙烯 / 碳纤维材料增强工艺研究 [D]. 西安: 西安科技大学, 2017.
- Zhao Zhenhui. Study on process of carbon fiber / polystyrene reinforced material based on selective laser sintering[D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2017.
- [15] 董渠, 王传洋, 钱秋波. 选择性激光烧结聚苯乙烯制件尺寸精度影响因素研究 [J]. 塑料工业, 2010, 38(S1):93-95.
- Dong Qu, Wang Chuanyang, Qian Qiubo. Investigation on impact factors of polystyrene parts dimension accuracy made by selective laser sintering[J]. China Plastics Industry, 2010, 38(S1):93-95.

欢迎订阅 2019 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘

邮发代号 24-42, 24-138 全国各地邮局均可订阅

也可直接通过邮局或银行汇款向《工程塑料应用》杂志社订阅《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘, 请注明订阅期刊 / 光盘的名称、收件人、邮编及地址。

《工程塑料应用》国内外公开发行的全国性塑料专业技术类刊物, 月刊, 大 16 开本, 每月 10 日出版。本刊为中文核心期刊, 是中国合成树脂供销协会会刊, 荣获首届、第二届、第三届国家期刊奖等多项国家、省部级优秀期刊奖, 入选美国化学文摘 (CA) 千种表。2019 年定价 20 元 / 期, 全年 240 元。目前杂志社尚有部分 2000 年以来的单册和合订本库存, 如需订阅, 请联系杂志社。

《化学分析计量》国内外公开发行的全国性分析、计量专业技术类刊物, 双月刊, 大 16 开本, 单月 20 日出版。本刊为中国科技核心期刊, 荣获多项省部级优秀期刊奖, 入选美国化学文摘 (CA) 千种表。2019 年定价 20 元 / 期, 全年 120 元。目前杂志社尚有部分 2000 年以来的单册和合订本库存, 如需订阅, 请联系杂志社。

《工程塑料应用》、《化学分析计量》合订本光盘 杂志社已将《工程塑料应用》自创刊号 (1973 年) 至 2017 年底共 45 卷 338 期的期刊电子化, 并制成合订本光盘, 现公开发售; 同时也将《化学分析计量》自创刊号 (1992 年) 至 2017 年底

共 26 卷 121 期的期刊电子化, 并制成合订本光盘, 现公开发售。合订本光盘既可按作者、文题、关键词、年、期等分类查阅各期刊已发表的所有科技文章和科技信息的全文, 又可根据读者自定义的关键词进行全文检索, 非常方便、实用。《工程塑料应用》合订本光盘优惠售价 550 元; 《化学分析计量》合订本光盘优惠售价 260 元。

邮局汇款:

收款地址: 济南市天桥区田庄东路 3 号

收款单位: 《工程塑料应用》杂志社

邮编: 250031

电话: (0531)85878223 85878057 85878278

传真: (0531)85947355

银行汇款:

户 名: 山东非金属材料研究所

开户银行: 济南市工商银行经十一路支行

账 号: 1602001229014425546

网上订阅: <http://www.epa1973.com>