

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2017.05.011

PS/ABS 复合粉末选择性激光烧结工艺参数的实验研究^{*}

杨来侠,周文明,王勃,杨繁荣

(西安科技大学机械工程学院,西安 710054)

摘要:针对选择性激光烧结件力学性能和尺寸精度差的问题,通过机械混合法制备了聚苯乙烯/丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(PS/ABS)的复合粉末。在预热温度85℃、8层网格支撑等条件下,采用单因素实验法研究激光功率、扫描速度、扫描间距和单层厚度对烧结件强度和相对误差的变化规律,并用正交试验对工艺参数进行优化。结果表明,烧结件的弯曲强度随着激光功率的增加而提高,随扫描速度、扫描间距和单层厚度的增加而降低。Z向尺寸相对误差随着激光功率的增加而增大,随着扫描速度、扫描间距和单层厚度的增加而减小;由极差分析可知,激光功率对PS/ABS烧结件弯曲强度和Z向尺寸相对误差的影响最大;最优的工艺参数组合为:激光功率30 W、扫描速度1 200 mm/s、扫描间距0.32 mm和单层厚度0.26 mm,此时烧结件的弯曲强度为7.85 MPa,Z向尺寸相对误差为1.30%。

关键词:选择性激光烧结;聚苯乙烯/丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料复合粉末;单因素实验法;正交试验;极差分析;工艺参数优化

中图分类号:TQ322.2 文献标识码:A 文章编号:1001-3539(2017)05-0057-06

Experimental Study on Process Parameters of PS/ABS Composite Powders Based on Selective Laser Sintering

Yang Laixia, Zhou Wenming, Wang Bo, Yang Fanrong

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

Abstract: The problems that the low mechanical strength and weak dimensional accuracy of sintered parts molded by selective laser sintering (SLS) have been identified. Polystyrene/acrylonitrile butadiene styrene plastic (PS/ABS) composite powders were prepared by mechanical mixing. Under the condition of preheating temperature 85℃ and 8 layers of grid support, the changing regularity of the laser power, scanning speed, scanning interval and layer thickness on the strength and accuracy of the parts were studied by using single factor experiment. The process parameters were optimized by orthogonal experiment. The results show that the bending strength of the sintered parts is higher and higher with the increase of laser power, and lower and lower with the increase of greater scanning speed, scanning interval and layer thickness. The relative error of the Z-axis size increases with the increase of laser power, and decreases with the greater of the other three parameters. The range analysis results indicate that laser power's effect on the bending strength and Z-axis size relative error of the PS/ABS specimen is maximum. The optimal combinations of process parameters are laser power 30 W, scanning speed 1 200 mm/s, scanning interval 0.32 mm and layer thickness 0.26 mm, at this time, the bending strength of the sample is 7.85 MPa, the relative error of the Z-axis size is 1.30%.

Keywords: selective laser sintering; polystyrene/acrylonitrile butadiene styrene plastic composite powders; single factor experiment; orthogonal experiment; range analysis; process parameter optimization

选择性激光烧结(SLS)是3D打印的一个重要组成部分,其利用分层叠加制造的原理,激光束在计算机的控制下有选择性地烧结粉末,层层叠加从而完成三维实体零件的制造。SLS工艺与传统的加工制造方法相结合,可以实现快速铸造和快速模具的制造,不仅可以极大地提高生产效率,还可以有效地降低成本,具有十分广阔的应用前景,因而受到人们的广泛关注^[1]。在SLS工艺中,粉末材料只受到激光加热的作用,没有受到外力的作用,并且还会产生

一定的收缩变形,因此会造成烧结件强度低、精度差等缺陷^[2]。

材料是3D打印的物质基础^[3],材料的性能对于SLS烧结件的质量有很大的影响。聚苯乙烯(PS)具有价格低廉、成型温度宽、收缩率小和高温气

^{*} 国家863计划项目(2015AA042503)

联系人: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

收稿日期:2017-03-01

化后灰分残留少等优点,非常有利于快速熔模铸造。丙烯腈-丁二烯-苯乙烯三元塑料(ABS)是常用的热塑性工程塑料,兼具韧性、硬度、刚性好等优良的力学性能^[4]。将两者共混可以改善PS强度低、耐热性能差和脆性大等缺点。

魏小华^[5]以PS粉为原料,研究了SLS工艺中激光功率和扫描速度的匹配关系以及二者对正八面体 X 、 W 、 Y 和 P 四个方向尺寸精度的影响规律,用得到的工艺参数烧结了薄壁壳体并进行了浸蜡工艺等研究。张建梅等^[6]研究了铺粉厚度、扫描速度、预热温度和激光功率对ABS粉末烧结密度的影响,并进行工艺参数的优化。李怀栋等^[7]在ABS/PS熔融挤出过程中,采用提高双螺杆挤出机螺杆转速的方法,得出了丁腈橡胶(NBR)粉末对ABS/PS具有增容增韧的作用。鉴于此,笔者以PS/ABS复合粉末为研究对象,借助于激光快速成型机,采用单因素实验法研究激光功率、扫描速度、扫描间距和单层厚度4个工艺参数对烧结件弯曲强度和 Z 向尺寸精度的影响,并利用正交试验进行工艺参数的优化,根据得到的最佳工艺参数组合,烧结出原型件。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PS粉:125 μm ,江苏常州荣晟新材料科技有限公司;

ABS粉:75 μm ,台湾奇美实业股份有限公司。

1.2 主要设备与仪器

激光快速成型机:XJRPSLS300型,陕西恒通智能机器有限公司;

微机控制电子万能力学试验机:CMT4304型,深圳市新三思计量技术有限公司;

电热鼓风干燥箱:101-2AB型,天津市泰斯特仪器有限公司;

数显游标卡尺:0~150 mm,精度0.01 mm,德清盛泰芯电子科技有限公司;

分析天平:SF-400型,石家庄市鑫盛化工有限公司;

电动振筛机:YCHH0301型,宜昌市华恒设备制造厂;

高速混合机:SHR-10A型,张家港市宏基机械有限公司。

1.3 试样制备

由于ABS粉的吸湿率较大,使用前需要在100℃干燥8 h^[8]。筛选出平均粒径为120 μm 的

PS粉末,采用机械混合法将PS粉与ABS粉按照9:1的比例充分混合,制得实验所用的PS/ABS复合粉末。利用激光快速成型机,在预热温度85℃,8层网格支撑和XYSTA扫描方式下,每次等间距同时烧结5个80 mm×10 mm×4 mm的长方体试样。

1.4 性能测试

精度测试:用相对误差表征烧结件的尺寸精度。采用数显游标卡尺,每个试样等精度测量5个 Z 向(高度)尺寸,取其均值作为该试样的实际值;按此方法对每组5个试样进行测量,其均值作为该组试样的实际值。尺寸相对误差为每组试样的实际值与理论值(4 mm)之差与理论值的比值。

弯曲强度测试:室温下测试每组成型的5个试样的弯曲强度,其均值作为该组工艺参数下的弯曲强度,弯曲速率为5 mm/min。

2 结果与讨论

影响SLS工艺烧结件质量的因素有很多,包括设备性能、材料特性、CAD模型误差和加工工艺参数等,其中工艺参数对烧结件的强度和精度影响较大^[9]。材料性质决定预热温度的设置,为了降低粉末烧结时上下表面的温差,从而减小烧结件的收缩和翘曲。通过对PS/ABS复合粉末烧结实验的研究,预热温度设定为85℃较为合适。为了改善烧结件的成型精度,烧结件底部采用8层网格支撑^[10]。XYSTA扫描方式是激光快速成型机扫描方式中的一种,它是指在同一烧结层先进行 X 向扫描再进行 Y 向扫描,这样可以提高扫描线之间的粘结力,烧结试样的成型质量也较好。

笔者在前期进行大量PS粉烧结实验的基础上,得到一组较为合理的参数组合:激光功率25 W、扫描速度1600 mm/s、扫描间距0.30 mm和单层厚度0.20 mm。在预热温度85℃,8层网格支撑和XYSTA扫描方式下,采用单因素实验法,研究激光功率、扫描速度、扫描间距和单层厚度对PS/ABS复合粉末烧结性能的变化规律。

2.1 激光功率对烧结件性能的影响

激光功率决定了作用在粉末表面上激光能量的大小。图1为不同的激光功率下烧结件的弯曲强度和 Z 向尺寸相对误差的变化曲线。

从图1可以看出,随着激光功率的增加,烧结件的弯曲强度和 Z 向尺寸相对误差都呈递增的趋势,而 Z 向尺寸相对误差的增加意味着尺寸精度变

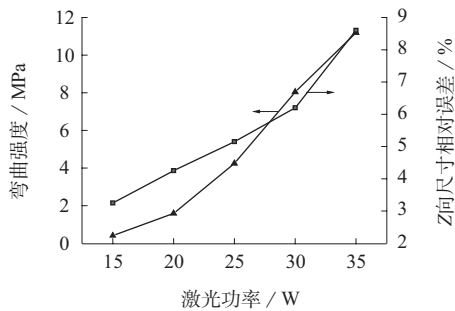


图1 不同激光功率下烧结件的弯曲强度和Z向尺寸相对误差的变化曲线

差。这是由于随着激光功率的增加,粉末吸收的能量增多,烧结件的强度也就越高。在大的激光能量下,多余的热量会向烧结件侧表面及底部未烧结的粉末扩散而烧结成型,若烧结层致密度较高,烧结件的体积变形较大,会造成尺寸偏差较大。烧结实验过程中发现,激光功率在35 W时,过高的激光能量会导致烧结件产生较大的翘曲变形、气化甚至炭化;激光功率在15 W时,由于激光能量过低,烧结件易折断,甚至无法成型。所以激光功率选取20,25,30 W作为正交试验的3个水平值。

2.2 扫描速度对烧结件性能的影响

扫描速度决定了激光束对粉末扫描和加热时间的长短。图2为不同的扫描速度下烧结件的弯曲强度和Z向尺寸相对误差的变化曲线。

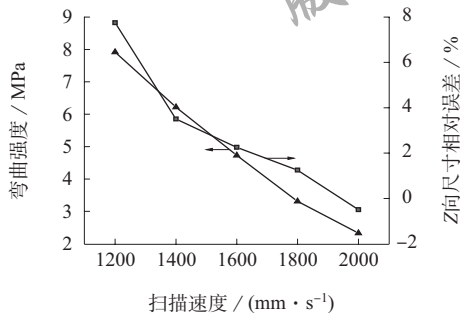


图2 不同扫描速度下烧结件的弯曲强度和Z向尺寸相对误差的变化曲线

从图2可以看出,烧结件的弯曲强度和Z向尺寸相对误差随着扫描速度的增加而减小,并且Z向尺寸相对误差从正方向往负方向变化。由激光能量密度公式^[11]可知,当激光能量一定时,扫描速度越低,激光对粉末加热的时间就越长,作用于粉末表面的热量就越多,熔融状况就越好,强度也就越高;扫描速度较低时,热量在粉末中传递的时间也越长,易引发“次级烧结”现象^[12],导致清粉困难,正偏差较大。随着扫描速度的增加,烧结件的弯曲强度降

低,但是“次级烧结”现象减弱,尺寸精度会得到改善。在PS/ABS复合粉末烧结过程中发现:当激光功率恒定时,若扫描速度<1200 mm/s时,试样过烧结严重,导致Z向尺寸超差严重;若扫描速度>2000 mm/s,烧结件层间粘结强度过低。故扫描速度选取1200,1500,1800 mm/s作为正交试验的3个水平值。

2.3 扫描间距对烧结件性能的影响

扫描间距与激光的光斑直径有关,扫描间距的大小决定相邻两条激光扫描线的重合和分离程度。图3为不同的扫描间距下烧结件的弯曲强度和Z向尺寸相对误差的变化曲线。

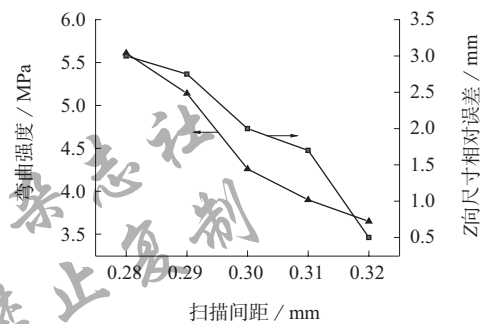


图3 不同扫描间距下烧结件的弯曲强度和Z向尺寸相对误差的变化曲线

从图3可以看出,烧结件的弯曲强度和Z向尺寸相对误差随着扫描间距的增加而减小。当激光能量一定时,扫描间距越大,每一烧结层的激光扫描次数就越少,相邻两扫描线重合部分也就越少,即“搭接率”^[13]也就越低,因而作用在单位面积上激光能量密度就越小,发生熔融的粉末颗粒也就越少,烧结件的强度也就越低。同时,扫描间距越大,粉末颗粒的状态变化就越小,相应的收缩变形也较小,尺寸精度也越好。笔者所用激光器的光斑直径为0.30 mm,理论上为了保证相邻两条激光扫描线的充分粘合,扫描间距应该小于0.30 mm,但是由于材料在激光的作用下会产生热变形,单条扫描线的烧结宽度往往又会大于0.30 mm,因此扫描间距应该在0.30 mm附近选择。故扫描间距选取0.28,0.30,0.32 mm作为正交试验的3个水平值。

2.4 单层厚度对烧结件性能的影响

图4为不同的单层厚度下烧结件的弯曲强度和Z向尺寸相对误差的变化曲线。

从图4可以看出,随着单层厚度的增加,烧结件的弯曲强度和Z向尺寸相对误差呈递减的趋势,且Z向尺寸相对误差呈现出由正方向往负方向变化的

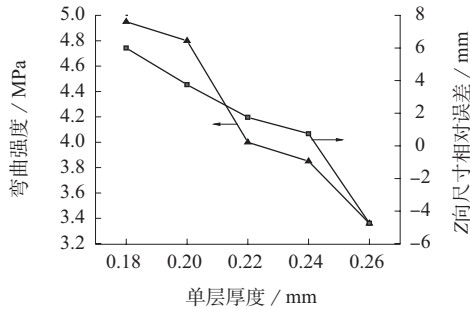


图4 不同单层厚度下烧结件性能的变化曲线

规律。这是因为单层厚度越小,激光向下穿透能力就越强,层与层之间的粘结也就越好,相应的强度也就越高。单层厚度越大,到达每层底部粉末的激光能量就越低,不利于层与层之间的粘接,强度也就越低。当激光能量较大或较小时,会导致过深烧结或烧结不足,就会使Z向尺寸误差较大或较小,但是过低的激光能量会造成底部粘粉不牢,清粉时会把烧结件底部的粉清除掉,导致实际尺寸值低于理论尺寸值,尺寸偏差也就会往负方向偏移。单层厚度的选择会影响烧结件的成型精度和成型效率,综合考虑单层厚度选取0.18,0.22,0.26 mm作为正交试验的3个水平值。

2.5 工艺参数的优化

对于多因素实验,采用正交试验是一种十分有效的研究方法,不仅可以科学合理地减少实验次数,还能达到较好的实验效果。本实验以激光功率、扫描速度、扫描间距和单层厚度4个工艺参数作为设计变量,每个参数分别取3个水平值。正交试验因素水平表见表1。正交试验方案及实验结果见表2。

表1 正交试验因素水平表

水平	因素			
	激光功率(A)/ W	扫描速度(B)/ (mm·s ⁻¹)	扫描间距(C)/ mm	单层厚度(D)/ mm
1	20	1200	0.28	0.18
2	25	1500	0.30	0.22
3	30	1800	0.32	0.26

表2 正交试验方案及实验结果

试验 组号	A	B	C	D	实验结果	
					弯曲强度/MPa	Z向尺寸相对误差/%
1	1	1	1	1	2.46	3.10
2	1	2	2	2	0.66	0.80
3	1	3	3	3	0.33	-1.50
4	2	1	2	3	5.85	2.00
5	2	2	3	1	4.59	3.50
6	2	3	1	2	1.97	0.25
7	3	1	3	2	10.04	5.90
8	3	2	1	3	6.99	2.60
9	3	3	2	1	6.09	3.90

由9组正交试验结果可以看出,烧结件的弯

曲强度为0.33~10.04 MPa,Z向尺寸相对误差为-1.50%~5.90%。

将同一因素下同一水平的3个实验值相加得到该因素的 K_i 值, $i=1,2,3$ 。各因素在不同水平下 K_i 的最大值与最小值之差即为极差 $R^{[14]}$ 。极差越大,说明该因素对于实验过程的影响也就越大,弯曲强度极差分析表见表3,Z向尺寸相对误差极差分析表见表4。将试验因素水平作为横坐标,以每个水平下烧结件的弯曲强度和Z向尺寸相对误差各自的 K_i 值作为纵坐标,得到因素水平与试验因素的变化趋势图如图5和图6所示。

表3 弯曲强度极差分析表

计算值	A	B	C	D
K_1	3.45	18.35	11.42	13.14
K_2	12.41	12.24	12.60	12.67
K_3	23.12	8.39	14.96	13.17
K_{Σ}	38.98	38.98	38.98	38.98
极差R	19.67	9.96	3.54	0.50
优化水平	A_3	B_1	C_3	D_3

表4 Z向尺寸相对误差极差分析表

计算值	A	B	C	D
K_1	2.40	11.00	5.95	10.50
K_2	5.75	6.90	6.70	6.95
K_3	12.40	2.65	7.90	3.10
K_{Σ}	20.55	20.55	20.55	20.55
极差R	10.00	8.35	1.95	7.40
优化水平	A_1	B_3	C_1	D_3

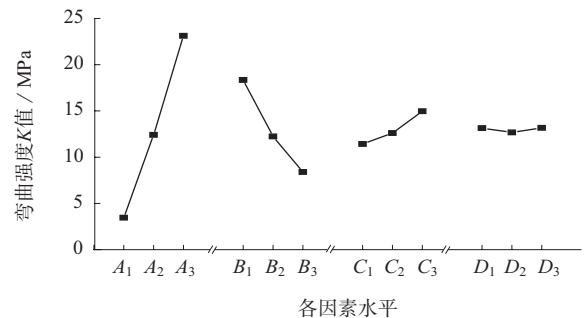


图5 烧结件的弯曲强度与各因素水平的关系图

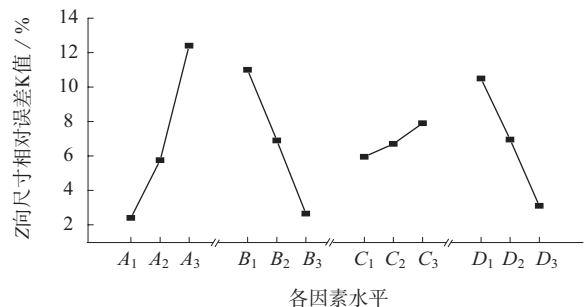


图6 烧结件的Z向尺寸相对误差与各因素水平的关系图

工艺参数的优化分析如下:

(1) 确定各因素影响大小的顺序。

由表3可知,各因素对烧结件弯曲强度极差大小的影响顺序为: $R_A > R_B > R_C > R_D$,所以激光功率对弯曲强度的影响最大,单层厚度的影响最小,扫描速度和扫描间距的影响介于两者之间。根据表4可知,各因素对烧结件Z向尺寸相对误差极差大小的影响顺序为: $R_A > R_B > R_D > R_C$ 。所以激光功率对Z向尺寸相对误差的影响最大,扫描间距的影响最小,扫描速度和单层厚度的影响介于两者之间。

(2) 确定各因素的优化水平。

结合表3和图5可知,激光功率选 A_3 最好。因为激光功率越大,粉层接收的激光能量就越高,熔融烧结也越充分,强度也就越高;扫描速度选 B_1 最好。因为扫描速度越小,激光对粉末加热的时间就越长,粉末吸收的热量也就越多,强度也就越高;扫描间距选 C_3 最好。因为此时可以使扫描线充分重叠,而扫描间距较小时,相邻的两条扫描线会因为重叠部分过多,一旦接收过高的激光能量,重叠部分的材料就会产生过烧分解现象,强度反而会降低;单层厚度选 D_3 最好。当其它的工艺参数一定时,如果单层厚度较小,会因为接收较高的激光能量而产生热分解。因此烧结件的弯曲强度的优化水平为 $A_3B_1C_3D_3$ 。

结合表4和图6可知,激光功率选 A_1 最好。因为激光功率过大,过高的激光能量会产生过烧结现象,导致尺寸精度较差;扫描速度选 B_3 最好。因为扫描速度越大,激光对粉末照射的时间就越短,粉末吸收的能量也就越少,由热变形和热收缩引起的尺寸误差就越小;扫描间距选 C_1 最好。因为此时其尺寸误差最小;单层厚度选 D_3 最好。因为单层厚度越大,到达每一烧结层底部粉末的激光能量就越低,烧结件的热变形也就越小,尺寸精度也就越好。因此Z向尺寸相对误差的优化水平为 $A_1B_3C_1D_3$ 。

(3) 确定最佳工艺参数组合。

从各因素的优化水平来看,烧结件的弯曲强度和Z向尺寸相对误差只有单层厚度所选的优化水平一致,为 D_3 ,即0.26 mm。因此,还需要对其它3个工艺参数(激光功率、扫描速度和扫描间距)做进一步的优化分析。采用K值变化率^[15]来计算某一因素下某一水平的变化速率,从而确定强度和精度的最优工艺参数组合。这样可以同时兼顾精度和强度,即在保证某一指标较优的情况下,另一个指标的变化程度也较小。

从表3可知,对于烧结件的弯曲强度,激光功率

选 K_3 时弯曲强度最高,从表4可知,对应的尺寸相对误差的变化率为 $|(K_3-K_{总})/K_{总}| \times 100\% = 39.66\%$;对于Z向尺寸相对误差,激光功率选择 K_1 时Z向尺寸相对误差最好,此时弯曲强度的变化率为 $|(K_1-K_{总})/K_{总}| \times 100\% = 91.15\%$ 。所以激光功率选 K_3 时变化率较小,即激光功率优选 A_3 水平。同理从弯曲强度指标考虑扫描速度选 B_1 、扫描间距选 C_3 ,则对应Z向尺寸相对误差下的扫描速度和扫描间距K值变化率分别为46.47%和61.56%;从Z向尺寸相对误差指标考虑,扫描速度选 B_3 、扫描间距选 C_1 ,此时弯曲强度的K值变化率分别为78.48%和70.70%。因而扫描速度优选 B_1 、扫描间距优选 C_3 。

因此,最佳工艺参数组合为 $A_3B_1C_3D_3$,即激光功率30 W、扫描速度1200 mm/s、扫描间距0.32 mm、单层厚度0.26 mm。在此参数组合下进行烧结实验,经测试试样的弯曲强度为7.85 MPa,Z向尺寸相对误差为1.30%。图7为在最佳工艺参数下烧结的原型件,该原型件表面质量较好,特征轮廓清晰,验证了最优工艺参数组合的合理性。

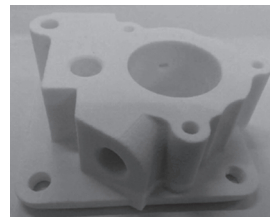


图7 最佳工艺参数组合下的烧结件

3 结论

采用机械混合法制备的PS/ABS复合粉末进行烧结实验,以弯曲强度和Z向尺寸相对误差双指标衡量烧结件的质量。对于SLS工艺而言,工艺参数的选择要同时兼顾成型质量和效率。

(1) 烧结件的弯曲强度随着激光功率的增加而提高,随着扫描速度、扫描间距和单层厚度的增加而降低。Z向尺寸相对误差随着激光功率的增加而增大,随着扫描速度、扫描间距和单层厚度的增加而减小。

(2) 由极差分析可知,激光功率对PS/ABS烧结件弯曲强度和Z向尺寸相对误差的影响最大。

(3) 最佳工艺参数组合为:激光功率30 W、扫描速度1200 mm/s、扫描间距0.32 mm和单层厚度0.26 mm,此时烧结试样的弯曲强度为7.85 MPa,Z向尺寸相对误差为1.30%。

参考文献

- [1] 王伟,王璞璇,郭艳玲.选择性激光烧结后处理工艺技术研究现状[J].森林工程,2014,30(2):101-104.
Wang Wei, Wang Puxuan, Guo Yanling. The research status of post-processing technology of selective laser sintering[J]. Forest Engineering, 2014, 30(2):101-104.
- [2] 杨来侠,刘旭,张文明.聚苯乙烯粉选择性激光烧结工艺参数优化[J].工程塑料应用,2015,43(6):44-49.
Yang Laixia, Liu Xu, Zhang Wenming. Process parameters' optimization of polystyrene powder based on selective laser sintering[J]. Engineering Plastics Application, 2015, 43(6):44-49.
- [3] 杜宇雷,孙菲菲,原光,等.3D打印材料的发展现状[J].徐州工程学院学报:自然科学版,2014,29(1):20-24.
Du Yulei, Sun Feifei, Yuan Guang, et al. Current status of materials for three-dimensional printing[J]. Journal of Xuzhou institute of Technology: Natural Sciences Edition, 2014, 29(1):20-24.
- [4] 王荣伟,杨为民,辛敏琦.ABS树脂及其应用[M].北京:化学工业出版社,2011.
Wang Rongwei, Yang Weimin, Xin Minqi. ABS resin and its application[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2011.
- [5] 魏小华.选择性激光烧结技术中的精度研究[J].铸造技术,2016,37(8):1698-1700.
Wei Xiaohua. Research on precision of selective laser sintering technology[J]. Foundry Technology, 2016, 37(8):1698-1700.
- [6] 张建梅,云介平.ABS粉末塑料的选择性激光烧结成型工艺参数优化设计[J].塑料,2009,38(4):107-109,87.
Zhang Jianmei, Yun Jieping. Optimization designing method about processing parameters of plastic powder on selective laser sintering of rapid prototyping manufacturing[J]. Plastics, 2009, 38(4):107-109, 87.
- [7] 李怀栋,张云灿,王媛媛.ABS/PS共混改性研究[J].塑料工业,2012,40(2):27-30.
Li Huaidong, Zhang Yuncan, Wang Yuanyuan. Study on blending modification of ABS / PS[J]. China Plastics Industry, 2012, 40(2):27-30.
- [8] 张雯,王力,郭朝霞,等.掺混型ABS树脂特征及其对PC/ABS合金结构与性能的影响[J].高分子学报,2013(10):1298-1303.
Zhang Wen, Wang Li, Guo Chaoxia, et al. Characteristics of mixed ABS resin and its effect on the structure and properties of PC / ABS alloy[J]. Acta Polymerica Sinica, 2013(10):1298-1303.
- [9] 王传洋,陈瑶,董渠.选择性激光烧结聚苯乙烯拉伸强度研究[J].应用激光,2014,34(5):377-382.
Wang Chuanyang, Chen Yao, Dong Qu. Research on tensile strength of selective laser sintering polystyrene[J]. Applied Laser, 2014, 34(5):377-382.
- [10] 杨来侠,陈梦瑶.聚苯乙烯粉选择性激光烧结的支撑烧结研究[J].工程塑料应用,2016,44(10):41-45.
Yang Laixia, Chen Mengyao. The support scanning sintering study on ps powder based on selective laser sintering[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(10):41-45.
- [11] 杨来侠,刘旭,薛英保.糖基材料选择性激光烧结实验研究[J].激光技术,2016,40(4):526-530.
Yang Laixia, Liu Xu, Xue Yingbao. Experimental study about selective laser sintering based on sugar material[J]. Laser Technology, 2016, 40(4):526-530.
- [12] 闫春泽.聚合物及其复合粉末的制备与选择性激光烧结成形研究[D].武汉:华中科技大学,2009.
Yan Chunze. Preparation of polymer and its composite powders and their selective laser sintering[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2009.
- [13] 任乃飞,杭雅慧,赵岩.316L选择性激光烧结参数对烧结件性能的影响[J].电子科技,2016,29(1):1-4,8.
Ren Naifei, Hang Yahui, Zhao Yan. Effect of 316L selective laser sintering parameters on the properties of sintered parts[J]. Electronic Science and Technology, 2016, 29(1):1-4, 8.
- [14] 杨来侠,赵贞慧.PS/CF复合粉末激光选区烧结工艺研究[J].工程塑料应用,2016,44(5):43-46.
Yang Laixia, Zhao Zhenhui. Study on process of PS / CF composite powders based on selective laser sintering[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(5):43-46.
- [15] 杨来侠,龚林,周文明,等.选择性激光烧结聚苯乙烯/玻璃纤维制件的工艺研究[J].工程塑料应用,2016,44(8):50-53.
Yang Laixia, Gong Lin, Zhou Wenming, et al. Technology study of polystyrene / glass fiber parts molded by selective laser sintering[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(8):50-53.

新型石墨烯氧化物薄膜可更好地淡化海水

英国曼彻斯特大学研究人员4月3日在《自然·纳米技术》发表报告说,他们开发的一种新型石墨烯氧化物薄膜能更高效地过滤海水中的盐,未来在海水淡化产业中有非常好的应用前景。

氧化石墨烯薄膜在气体分离和水处理方面已经展示出很大的应用潜力,但现有的这类薄膜还无法适应海水淡化工艺要求。曼彻斯特大学此前的研究就发现,如果将这类薄膜浸泡在水中,它会轻微膨胀,微小的盐离子会随着水流渗透

薄膜,无法完成对盐的过滤。

为解决这个问题,他们利用环氧树脂涂层在薄膜两边形成“阻隔墙”,可有效控制薄膜在水中的膨胀程度。这一方法能更精确地控制薄膜上微空隙的大小,不让它因薄膜膨胀而变得过大,从而实现对细小盐离子的过滤。由于微空隙大小可控,也能更精确地调整盐的过滤程度。报告作者之一、曼彻斯特大学教授拉胡尔·奈尔说,这种新方法能够有效提升海水淡化技术的效率,未来如果技术发展成熟,可大规模生产能过滤不同大小离子的氧化石墨烯薄膜。(工程塑料网)