

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2019.10.009

打印参数对 FDM 成型 ABS 制品性能的影响

陈延凯¹, 史廷春², 张建辉¹

(1. 杭州电子科技大学机械工程学院, 杭州 310018; 2. 杭州电子科技大学生物医学工程与仪器科学学院, 杭州 310018)

摘要: 为了提高熔融沉积制造 (FDM) 成型制品的质量, 采用正交试验的方法研究分层厚度、成型室温度、填充间隔以及扫描次数对丙烯腈-丁二烯-苯乙烯 (ABS) 制品表面粗糙度和拉伸强度的影响, 通过对测量数据进行极差和方差分析, 评估出各工艺参数对制品表面粗糙度和拉伸强度的影响顺序及显著性水平, 给出了最优化工艺参数组合。实验结果表明, 各工艺参数对制品表面粗糙度和拉伸强度的影响程度存在差异, 其中对表面质量影响程度为: 分层厚度 > 成型室温度 > 填充间隔 > 扫描次数, 最优化参数组合为成型室温度 80℃, 分层厚度 0.17 mm, 填充间隔 6, 扫描次数 2。对拉伸强度影响程度为: 分层厚度 > 填充间隔 > 扫描次数 > 成型室温度, 最优化参数组合为成型室温度 80℃, 分层厚度 0.30 mm, 填充间隔 4, 扫描次数 4。研究内容对优化 3D 打印参数、提高制品成型质量具有一定的指导意义。

关键词: 熔融沉积制造; 打印参数; 正交试验; 表面粗糙度; 拉伸强度

中图分类号: TH145 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2019)10-0047-06

Influence of Printing Parameters on Properties of Fused Deposition Modeling ABS Samples

Chen Yankai¹, Shi Tingchun², Zhang Jianhui¹

(1. School of Mechanical Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China;

2. School of Biomedical Engineering and Instrumentation Science, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract : To improve the molding quality of fused deposition modeling (FDM) products, the influence of layer thickness, molding room temperature, filling gap and scanning times on the surface roughness and tensile strength of ABS printed products was studied by using the orthogonal experimental design method. By analyzing range and ANOVA of the measured data, the influence order and significance level of each process parameter on the surface roughness and tensile strength of printed products were evaluated, and the optimal combination of process parameters was given. The experimental results show that the influence of various process parameters on the surface roughness and tensile strength of printed samples is different. The sequence of the magnitude of effect of the four factors on the surface quality is as follows: layer thickness, molding room temperature, filling gap and scanning times. The combinations of optimal levels are as follows: molding room temperature 80℃, layer thickness 0.17 mm, filling gap 6 and scanning times 2. The sequence of the magnitude of effect of the four factors on the tensile properties is as follows: layer thickness, filling gap, scanning times and molding room temperature. The combinations of optimal levels are as follows: molding room temperature 80℃, layer thickness 0.30 mm, filling gap 4 and scanning times 4. The research has certain guiding significance for optimizing 3D printing parameters and improving the molding quality of products.

Keywords : fused deposition modeling; printing parameter; orthogonal experiment; surface roughness; tensile strength

随着工业 4.0 时代的到来, 中国制造业技术一直在升级转型, 传统制造加工技术逐渐向新时期智能化、创新化、精益化、互联化、服务化方向转变^[1]。

3D 打印技术作为一种创新的增材制造技术, 直接通过预先设计好的数字 CAD 模型生产部件, 无需额外的刀具切削加工或夹具定位组装技术, 对于高

基金项目: 浙江省科技厅重大科技专项计划项目 (2015C01035), 浙江省科技厅重点研发项目计划项目 (2017C01019)

通讯作者: 史廷春, 教授, 硕士研究生导师, 主要从事生物 3D 打印研究 E-mail: stc@hdu.edu.cn

收稿日期: 2019-08-06

引用格式: 陈延凯, 史廷春, 张建辉. 打印参数对 FDM 成型 ABS 制品性能的影响 [J]. 工程塑料应用, 2019, 47(10):47-52.

Chen Yankai, Shi Tingchun, Zhang Jianhui. Influence of printing parameters on properties of fused deposition modeling ABS samples[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(10):47-52.

质量且形状复杂的产品,都可以通过3D打印技术在短时间内逐层累加成型,成本低且不会浪费材料^[2-4]。因此,3D打印制造技术的发展有助于增强国家创新创造能力以及智能制造水平,已成为国家重点发展的战略支撑技术,广泛应用于航天航空、生物技术、汽车工程、环境工程等制造业领域中^[5-6]。

3D打印技术类型多种多样,美国材料与试验协会(ASTM)3D打印技术委员会按照成型原理主要分成了7大类^[7],其中熔融沉积制造(FDM)技术由于系统具有结构简单、制作成本低、可扩展性强、材料更换方便且利用率高等优势,广泛应用于3D打印技术中。据统计,全世界使用FDM技术系统占快速成型技术总销售额近13.9%的比例^[8]。然而,FDM技术也存在打印精度不高、产品表面粗糙度较高且致密度较低、打印过程易出现由于快速冷却引起的内应力使产品变形的缺陷^[9]。影响打印制品表面质量与力学性能的因素主要包括两部分:一是用户不可调控因素,如硬件设备及打印材料性能等;二是用户可调控的打印参数,如打印温度、打印速度、分层厚度、打印方向等,设定合适的打印参数是打印成功的关键^[10]。因此,研究多个打印参数之间的耦合关系以及不同打印参数对制品表面质量与力学性能的影响程度,对提高3D打印成型精度,改善制品表面质量具有重要的意义。

乔女^[11]通过有限元分析软件对丙烯腈-丁二烯-苯乙烯(ABS)材料进行热应力耦合场仿真分析,模拟出喷头温度、成型室温度和打印速度对制品热应力耦合场的影响,最终得到最优化结果:喷头温度200℃、成型室温度90℃、打印速度30 mm/s。喻红等^[12]研究了3D打印参数与打印制品层间粘结性能之间的关系,发现提高打印温度有助于增强层与层之间接触面的粘结性能,而随着层厚的增加,制品层间孔隙逐渐增大,从而降低层与层之间的粘结性能。高士友等^[13]制备了不同填充率的聚乳酸(PLA)耗材进行拉伸、弯曲和压缩实验,证明了填充率是影响制品力学性能的关键因素,且制品强度和刚度会随着填充率的增加而明显提高。K. Namjung等^[14]利用田口方法分析了各种工艺参数对打印制品表面粗糙度的影响,采用了多目标粒子群优化算法对数据进行处理,得出最优化工艺参数,提高制品成型质量的同时减少了打印时间。Wu Wenzheng等^[15]研究了分层厚度、填充角度、变形温度、恢复温度对3D打印PLA制品形状记忆效应的

影响,使用正交试验方法对制品形状恢复率进行评估,得出最佳水平形状恢复率的工艺参数水平:变形温度55℃、恢复温度70℃、填充角度45°和层厚150 μm。

笔者采用FDM技术打印ABS制品,选取了分层厚度、成型室温度、填充间隔以及扫描次数四种工艺参数,每种工艺参数选取四个水平,采用正交试验的方法,建立 $L_{16}(4^5)$ 正交实验表,通过对测量数据进行极差和方差分析,评估了各工艺参数对制品表面粗糙度和拉伸强度的影响顺序及显著性水平,最后给出最优化工艺参数组合。

1 实验条件

1.1 原材料

3D打印耗材选用浙江宁波兰博公司生产的直径为0.75 mm的ABS线丝。

1.2 打印设备

3D打印机使用是北京太尔时代公司生产的Inspire-S250快速成型设备,如图1所示。该设备基于FDM技术原理,成型空间为150 mm×200 mm×250 mm,可支持双喷头打印。支持载入STL, CSM以及CLI格式的模型,软件对模型进行分层切片处理来获取层间信息,从而生成成型时的加工轨迹。打印成型过程为:装有ABS线材的材料卷轴通过送丝电机与啮合齿轮以特定的间隙将热塑性线材送至加热块,线材遇热熔融,喷嘴沿着软件生成的路径将熔融材料按目标位置挤出并迅速固化,随着一层的打印完成,打印平台就会下降一层,继续控制喷头挤出熔融材料与下层已固化平面粘连,周而复始的层层叠加成型。

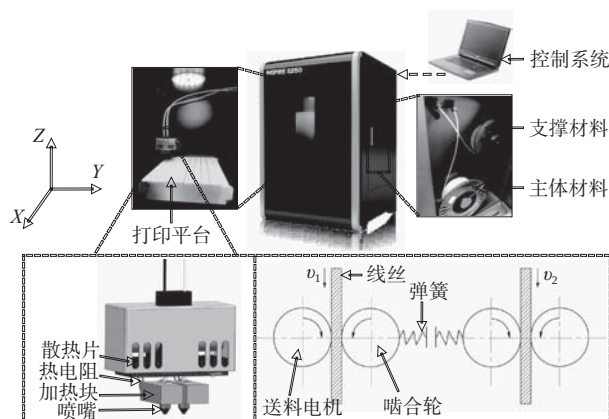


图1 Inspire-S250 打印机整体结构示意图

1.3 工艺参数选取

FDM技术工艺参数的设定对制品表面质量及

其力学性能具有很重要的影响,工艺参数具有多样性的特征,根据所使用的上位机控制软件 Model Wizard 的设定可分为系统固化参数和用户可调控参数两部分,其中系统固化参数主要包括打印温度 230℃、扫描速度 80 mm/s 及填充角度 45°,而大部分的工艺参数都可调控,如表 1 所示。笔者选取了成型室温度 (A)、分层厚度 (B)、填充间隔 (C) 以及扫描次数 (D) 作为研究参数,探讨各因素对 ABS 制品表面质量和力学性能的影响,以优化工艺参数组合。

表 1 系统软件中用户可调控的工艺参数

项目	数值
成型室温度 /℃	30,40,50,60,70,80,90,100
分层厚度 /mm	0.15,0.17,0.20,0.25,0.30,0.35
填充线宽	系统默认设定或自行更改
填充间隔	系统默认设定或自行更改
扫描次数	系统默认设定或自行更改
支撑参数	系统默认设定或自行更改
工作台高度	喷嘴与打印平台几乎贴紧的位置
副喷头位置偏移	要求支撑与轮廓间的间隔相等

(1) 成型室温度。

成型室温度会影响打印制品的热应力大小,长期实际打印过程中发现:成型室温度设置过低,打印制品易出现边缘翘曲变形,层与层之间粘连效果差,甚至会出现产品移位的现象;成型室温度设置过高,制品表面易起皱,影响表面质量。因此,选取合适的成型室温度有助于打印制品的顺利成型,提升制品的成型质量。成型室温度的设置范围为 30~100℃,考虑到该设备 60℃以下 ABS 制品难以成型,选取 70,80,90,100℃四种水平进行研究。

(2) 分层厚度。

分层厚度是指分层切片处理后相邻层的间距,即为喷头走完一层的加工轨迹后,成型平台需要下降的距离,如图 2 所示。在制品逐层成型过程中,制品外表面由于层层挤压堆积会出现层与层之间不连续的现象,即为台阶效应,对制品表面的光洁度产生破坏,影响制品表面质量以及成型精度。分层厚度往往由喷嘴直径、打印效率以及打印精度等因素决定,实际打印中要综合考虑这些因素以及对制品的性能要求等。实验所使用的的喷嘴直径为 0.4 mm,综合系统软件提供的 6 种实验参数,选取 0.17,0.20,0.25,0.30 mm 四种水平进行研究。

(3) 填充间隔。

填充间隔是指打印厚壁制品时,为了提高打印效率以及降低原型应力,在内部采用孔隙填充的方式,如图 2 所示,相邻填充线之间的间隔即为填充

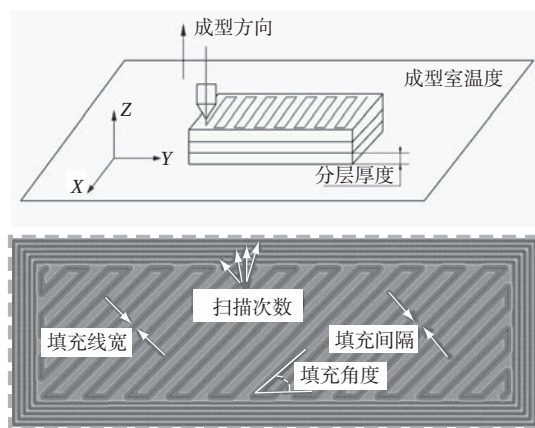


图 2 3D 打印过程中工艺参数示意

间隔。软件设定时,该参数为 1 时,内部采用无孔隙填充的方式;该参数大于 1 时,相邻填充线间隔 $= (C-1) \times \text{填充线宽}$ 。笔者选用填充间隔为 3,4,5,6 四种水平进行研究。

(4) 扫描次数。

扫描次数是指层片轮廓的扫描次数,如图 2 所示,该值设定为 D 表示扫描轮廓会沿第一层轮廓向模型内部偏移 D 个轮廓线宽。因此,该值的设定可能会影响制品的表面质量以及力学性能。实验选取扫描次数为 1,2,3,4 四种水平进行研究。

1.4 试样制备

实验样品的形状和尺寸根据 GB/T 1040.2-2006 确定,如图 3 所示,使用 UG 软件对试样绘制三维模型,并导出为 STL 文件,加载到控制软件中进行分层切片处理,最终生成打印机能够识别的 Gcode 代码。打印过程中,根据正交表只改变每次实验的变量参数,而其它参数则保持不变。为了消除其它实验因素的影响,所有试样成型方向一致,且打印的位置都位于打印平台的中心。同时,相同实验条件下打印 3 个试样进行实验,减少实验数据的误差。

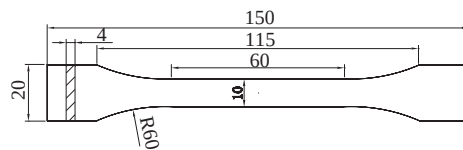


图 3 标准试样尺寸

1.5 性能测试

打印完成后首先对试样进行表面粗糙度的测量,测试仪器型号为 SJ-210,粗糙度评定参数取 R_a 的数值。测试前为保证测量过程中驱动部不发生偏离,先将驱动部和测量物牢固固定,同时使探针正确

接触测量面,保证检出器和测量面平行。然后进行校正操作来消除测量数据的误差,再设定好测量条件:测量速度 0.5 mm/s,测量标准 ISO1997,取样数为 5,最后对试样进行测量和数据保存。

测完表面粗糙度后对试样进行拉伸性能的检测,实验仪器为 WDW-100 型电子万能试验机,根据 GB/T 1042.2-2006,实验速度设为 2 mm/min,加载观察试样变化并保存数据,相同实验条件下打印 3 个试样,取其平均值作为最终拉伸性能的评定数据。

2 实验方法

正交试验设计方法是一种研究多因素多水平以优化工艺参数的高效方法,可根据设计的正交表进行实验,数据处理后得到正交表的极差和方差,直观分析出最优化工艺参数,避免了由于因素水平较多而需进行大量实验以及数据处理的缺陷。实验因素水平设置见表 2,最终设计的正交试验表以及测试结果见表 3。

表 2 正交试验因素和水平

因素水平	A/℃	B/mm	C	D
1	70	0.17	3	1
2	80	0.20	4	2
3	90	0.25	5	3
4	100	0.30	6	4

表 3 正交实验设计表

试验号	A/℃	B/mm	C	D	$R_a/\mu\text{m}$	拉伸强度/MPa
1	70	0.17	3	1	11.476	20.700
2	70	0.20	4	2	16.942	20.150
3	70	0.25	5	3	50.507	22.383
4	70	0.30	6	4	56.876	25.900
5	80	0.17	4	4	9.487	21.150
6	80	0.20	3	3	16.737	19.900
7	80	0.25	6	2	36.946	22.150
8	80	0.30	5	1	56.829	26.850
9	90	0.17	5	2	9.844	18.133
10	90	0.20	6	1	19.750	18.850
11	90	0.25	3	4	41.459	26.867
12	90	0.30	4	3	53.220	27.583
13	100	0.17	6	3	12.516	17.683
14	100	0.20	5	4	20.639	19.150
15	100	0.25	4	1	48.705	25.917
16	100	0.30	3	2	61.553	27.217

3 结果与讨论

3.1 表面粗糙度

对试样表面粗糙度正交试验结果进一步进行极差分析,极差分析结果见表 4,其中 K_i 值为各影响因素 i 水平下四个测量数据的均值, R 为极差。根据极差分析结果作出试样表面粗糙度与四因素之

间的关系曲线,如图 4 所示。

表 4 表面粗糙度极差分析结果

项目	A	B	C	D
K_1	33.950	10.831	32.806	34.190
K_2	30.000	18.517	32.089	31.321
K_3	31.068	44.404	34.455	33.245
K_4	35.853	57.120	31.522	32.115
R	5.854	46.289	2.933	2.869

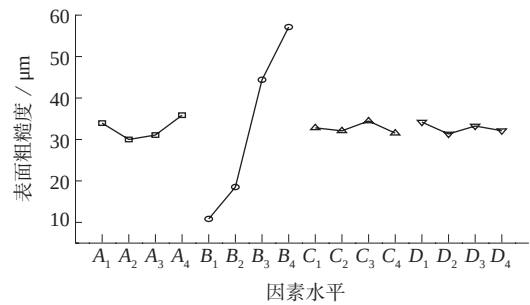


图 4 表面粗糙度与四因素的关系曲线

由表 4 和图 4 可看出, $R_B > R_A > R_C > R_D$ 。表明分层厚度对打印试样表面粗糙度的影响最大,且随着分层厚度的增加,表面粗糙度近似呈线性增长。其次为成型室温度,表面粗糙度呈现先下降后上升的趋势,说明过低或过高的温度都会影响打印制品的表面质量。填充间隔以及扫描次数对打印试样表面粗糙度的影响相对较小。

最优化工艺参数组合为 $A_2B_1C_4D_2$,即成型室温度 80℃,分层厚度 0.17 mm,填充间隔 6,扫描次数 2。按照最佳工艺参数组合进一步打印 3 组试样,得出三组试样表面粗糙度的平均值为 7.985 μm ,比正交试验中 R_a 最小值 9.487 μm 降低了 1.502 μm ,表面质量进一步提高。

考虑到极差分析结果不能定量估计各影响因素对目标表面粗糙度影响的显著程度,同时也无法区分因影响因素水平的变化或实验误差所引起的数据波动^[16]。因此对实验数据进一步进行方差分析,结果如表 5 所示,其中,显著性水平 $P < 0.05$ 表示差异显著, $P < 0.01$ 表示差异极显著。

表 5 表面粗糙度方差分析结果

项目	A	B	C	D
平方和	85.835	5650.887	19.403	19.035
自由度	3	3	3	3
均方	28.612	1883.629	6.468	6.345
F 值	1.771	116.560	0.400	0.393
显著性水平 P	0.325	0.001	0.764	0.769

根据方差分析表,各影响因素对制品表面粗糙度的影响程度由显著性水平 P 值决定。各影响因素对制品表面粗糙度的影响程度大小为: $B > A >$

$C > D$,其中分层厚度对制品表面粗糙度的影响极显著,而填充间隔与扫描次数的影响程度不高,方差分析结果与极差分析结果相符,说明正交试验确定的优化结果可靠。

3.2 拉伸强度

对正交试验拉伸强度数据进一步进行极差分析,结果见表6,根据极差分析结果作出试样拉伸强度与四因素之间的关系图,如图5所示。

表6 拉伸强度极差分析结果

项目	A	B	C	D
K_1	22.283	19.417	23.671	21.890
K_2	22.396	19.513	23.700	21.913
K_3	22.333	24.329	21.629	23.080
K_4	22.275	26.888	21.146	23.267
R	0.113	7.471	2.554	1.377

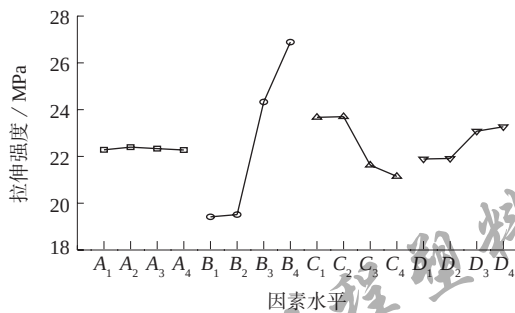


图5 拉伸强度与四因素的关系图

结合表6和图5可看出, $R_B > R_C > R_D > R_A$ 。表明分层厚度对打印试样拉伸强度的影响最大,当分层厚度从0.17 mm增加到0.30 mm时,拉伸强度增大,且从0.20 mm增加到0.25 mm时拉伸强度增幅显著提高,这是因为分层厚度增加会减少打印层数,进而减少层与层之间的薄弱面数量,增强打印制品的力学性能。其次为填充间隔,填充间隔从4设定到5,6时,试样拉伸强度明显下降,说明填充间隔过高会降低打印制品的力学性能。随着扫描次数的增加,打印试样的壁厚增大,拉伸强度也进一步增大。成型室温度对试样拉伸强度的影响相对较小,成型室温度设定为80℃时,试样拉伸性能最优,说明适当的成型室温度有利于ABS晶体的形成和生长,提升打印过程中层与层之间的粘连效果。

最优化工艺参数组合为 $A_2B_4C_2D_4$,即成型室温度80℃,分层厚度0.30 mm,填充间隔4,扫描次数4。采用最优化工艺参数组合打印三组试样进行拉伸实验,测得此时拉伸强度为33.875 MPa,高于正交试验中测得的拉伸强度最大值27.583 MPa,拉伸性能显著提升。

进一步对实验数据进行方差分析,结果见表7。根据方差分析表,分析出各影响因素对试样拉伸强度的影响程度大小为: $B > C > D > A$,其中分层厚度对制品拉伸强度的影响极显著,填充间隔与扫描次数对制品拉伸强度的影响显著,方差分析结果与极差分析结果相符,说明正交试验确定的优化结果可靠。

表7 拉伸强度方差分析结果

项目	A	B	C	D
平方和	0.681	164.097	21.594	6.555
自由度	3	3	3	3
均方	0.227	54.699	7.198	2.185
F值	1.109	245.477	32.304	9.806
显著性水平 P	0.494	0.001	0.009	0.046

4 结论

(1) 为获得表面质量最好的打印制品,最优化工艺参数组合为:成型室温度80℃,分层厚度0.17 mm,填充间隔6,扫描次数2。通过实验验证此时表面粗糙度 R_a 为7.985 μm ,比正交试验中 R_a 最小值9.487 μm 降低1.502 μm ,表面质量提升。

(2) 为获得拉伸性能最好的打印制品,最优化工艺参数组合为:成型室温度80℃,分层厚度0.30 mm,填充间隔4,扫描次数4。最优化工艺参数组合下的试样拉伸强度为33.875 MPa,比正交试验中测得的拉伸强度最大值27.583 MPa增长6.292 MPa,拉伸性能显著提升。

(3) 根据极差和方差分析结果可知,影响打印制品表面粗糙度的主要因素为分层厚度,随着分层厚度的增加,表面粗糙度值近似呈线性增长。分层厚度也是影响打印制品拉伸强度的主要因素,当分层厚度从0.17 mm增加到0.30 mm时,拉伸强度逐渐增大,且从0.20 mm增加到0.25 mm时拉伸强度增幅显著提高。其次填充间隔与扫描次数对制品拉伸强度的影响为显著水平,其中填充间隔过高会降低打印制品的拉伸性能,而随着扫描次数的增加,打印试样的壁厚增大,拉伸强度也进一步增大。

参考文献

- [1] 欧阳生,孔德洋.工业4.0时代中国制造业新出路——《精益智能制造》推荐阅读[J].中国机械工程,2018,29(16):2010-2015.
Ouyang Sheng, Kong Deyang. The new way out for China's manufacturing industry in the era of industry 4.0—“Lean Smart Manufacturing” recommended reading[J]. China Mechanical Engineering, 2018, 29(16): 2010-2015.
- [2] Martin B, Chris T, Ricky W, et al. Shape complexity and process

- energy consumption in electron beam melting:A case of something for nothing in additive manufacturing[J]. Journal of Industrial Ecology, 2017, 21(S1):S157-S167.
- [3] 卢秉恒,李涤尘. 增材制造(3D打印)技术发展[J]. 机械制造与自动化, 2013, 42(4):1-4.
- Lu Bingheng, Li Dichen. Development of the additive manufacturing (3D printing) technology[J]. Machine Building & Automation, 2013, 42(4):1-4.
- [4] 颜永年,张伟,卢清萍,等. 基于离散/堆积成型概念的RPM原理和发展[J]. 中国机械工程, 1994, 5(4):64-66.
- Yan Yongnian, Zhang Wei, Lu Qingping, et al. Theory and development of RPM based on discrete / stacking forming concept[J]. China Mechanical Engineering, 1994, 5(4):64-66.
- [5] Zou R, Xia Y, Liu S, et al. Isotropic and anisotropic elasticity and yielding of 3D printed material[J]. Composites Part B:Engineering, 2016, 99:506-513.
- [6] 付远,程香平,万珍珍,等. XFEM计算3D打印PLA材料拉伸试样的裂纹扩展[J]. 塑性工程学报, 2016, 23(2):136-142.
- Fu Yuan, Chen Xiangping, Wan Zhenzhen, et al. Crack propagation of PLA 3D printing stretching specimen by means of XFEM[J]. Journal of Plasticity Engineering, 2016, 23(2):136-142.
- [7] 李小丽,马剑雄,李萍,等. 3D打印技术及应用趋势[J]. 自动化仪表, 2014, 35(1):1-5.
- Li Xiaoli, Ma Jianxiong, Li Ping, et al. 3D printing technology and its application trend[J]. Automation Instrumentation, 2014, 35(1):1-5.
- [8] Galantucci L M, Bodi I, Kacani J, et al. Analysis of dimensional performance for a 3D open-source printer based on fused deposition modeling technique[J]. Procedia CIRP, 2015, 28:82-87.
- [9] Boschetto A, Bottini L. Accuracy prediction in fused deposition modeling[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2014, 73(5-8):913-928.
- [10] 张帆,谭跃刚,马国锋. 基于正交试验的FDM 3D打印工艺方法研究[J]. 机床与液压, 2017, 45(23):85-88.
- Zhang Fan, Tan Yuegang, Ma Guofeng. Research of FDM 3D printing technology method based on orthogonal experiment[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2017, 45(23):85-88.
- [11] 乔女. ABS塑料3D打印过程中热应力耦合场分析与优化[J]. 塑料, 2017, 46(5):24-28.
- Qiao Nyu. Thermal stress coupling field analysis and printing experiment of ABS material 3D printing based on ANSYS[J]. Plastics, 2017, 46(5):24-28.
- [12] 喻红,杨孟茹,吴悠,等. 3D打印参数对制品层间黏结性能的影响[J]. 中国塑料, 2018, 32(6):98-103.
- Yu Hong, Yang Mengru, Wu You, et al. Effect of 3D printing parameters on interlayer adhesive properties of printed parts[J]. China Plastics, 2018, 32(6):98-103.
- [13] 高士友,黎宇航,周野飞,等. 熔融沉积(FDM)3D打印成形件的力学性能实验研究[J]. 塑性工程学报, 2017, 24(1):200-206.
- Gao Shiyu, Ni Yuhang, Zhou Yefei, et al. Mechanical properties experiment of 3D printing forming specimens with fused deposition modeling (FDM)[J]. Journal of Plasticity Engineering, 2017, 24(1):200-206.
- [14] Namjung K, Ishan B, Daehoon H, et al. Improving surface roughness of additively manufactured parts using a photopolymerization model and multi-objective particle swarm optimization[J]. Applied Sciences, 2019, 9(8):151-173.
- [15] Wu Wenzheng, Ye Wenli, Wu Zichao, et al. Influence of layer thickness, raster angle, deformation temperature and recovery temperature on the shape-memory effect of 3D-printed polylactic acid samples[J]. Materials, 2017, 10(8):970-986.
- [16] 朱景峰. 基于FDM技术的快速成型机设计及工艺参数优化[D]. 银川:宁夏大学, 2016.
- Zhu Jingfeng. Design of the rapid forming machine and optimization of the process parameters based on FDM technology[D]. Yinchuan:Ningxia University, 2016.

亨斯迈在迪拜开设新的聚氨酯系统公司

亨斯迈公司宣布在迪拜开设新的聚氨酯组合业务。这座专门建造的工厂位于杰贝阿里自由贸易区(JAFZA)内,加强了亨斯迈在中东和北非的为价值链下游提供服务的能力,提高了生产聚氨酯组合料和聚酯多元醇的能力。

新组合业务包括一个配备先进制造设备、搅拌机、反应堆、加油站、控制室、办公室和质量控制实验室的生产区。该工厂将生产用于建筑、绝缘、电器、床上用品和家具的聚氨酯泡沫。它还将为制鞋业生产组合材料,为涂料、粘合剂、密封胶和弹性体应用生产预聚物。

该工厂还将作为亨斯迈 Demilec 喷涂聚氨酯泡沫 (SPF) 业务的区域中心。新组合配备了专门的喷雾泡沫应用和培训中心,为该地区的客户在当地提供全球支持的技术和培训援助。

亨斯迈聚氨酯业务总裁 Tony Hankins 表示:“这项投资是我们扩展全球组合业务产能的最新举措,这是我们下游增长战略的基础。在 JAFZA 成立新的组合业务让我们更贴近客户,并给予我们在中东和北非拓展业务所需的一切。这些包括了制造业竞争力,基础设施间连接和响应速度。”

欧洲、非洲、中东和印度地区副总裁 Steen Weien Hansen 进一步评论说:“在城市化率 90% 的背景下,人口快速增长。阿联酋是聚氨酯的主要进口国,材料被用于建筑项目以及生产消费品。期待已久的迪拜世博会一年后即将召开,蓬勃发展的建筑业将增加聚氨酯进口,直接促进亨斯迈在阿联酋的业务增长。”

亨斯迈在中东的其他下游业务包括亨斯迈 EMA (土耳其的组合业务),和位于沙特阿拉伯与 BCI 集团公司合资的亨斯迈阿拉伯多元醇公司。

(环聚氨网)