

FDM 工艺成型体力学性能的数值分析

及世良, 郭树起

(石家庄铁道大学 工程力学系, 河北 石家庄 050043)

摘要:3D 打印技术是一系列快速原型成型技术的统称,它是一种以数字模型文件为基础,通过逐层打印的方式来制造物体的技术。FDM 工艺是目前 3D 打印技术中使用最广泛的工艺,该工艺成型产品的力学强度主要取决于打印参数的设置。研究使用 FDM 工艺打印的 ABS 材料制品的力学性能与打印参数(包括打印层厚度、沉积纤维宽度和纤维铺设角度)之间的复杂关系,使用试验设计法确定了 FDM 产品的力学强度与打印参数间的定量关系,为使用 3D 打印技术直接制造功能性产品提供了理论支持。

关键词:FDM 工艺;力学性能;打印参数;试验设计

中图分类号:TQ325.2 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-0373(2019)04-0027-08

0 引言

在 3D 打印技术中,熔融沉积成型(FDM)工艺由于操作性强和成型速度快等特点,成为应用最广泛的 3D 打印技术。随着 FDM 工艺的成熟和发展,越来越多的人接触到这项“新科技”。人们也不再满足于使用该技术制造概念化物体,而转向于制造功能性物体。一种材料或者结构是否能够安全可靠地使用,需要一系列力学性能指标来判断,因此就需要对 FDM 工艺成型体的力学性能进行进一步的研究。高晓东等^[1]采用 FDM 工艺制备了聚酰胺 12(PA12)试样,研究了基于 PA12 材料的 FDM 工艺成型体的不同构型对其力学性能的影响,并传统注射成型体的力学性能进行了对比。于旺旺等^[2]通过研究打印参数对 FDM 制品力学性能的影响探索最佳打印方式。Mohamed et al^[3]使用 Q-优化响应曲面法探究了 FDM 工艺中的打印参数对 FDM 制品的打印时间、材料使用量和动态弯曲模量的影响。Rayegani et al^[4]使用数据处理组合方法(GMDH)确定了 FDM 工艺的打印参数与成型体拉伸强度之间的函数关系,使用差分进化对工艺参数进行了优化。Sood et al^[5]研究了 FDM 制品的抗压强度与打印参数间的关系,建立了一个预测方程,并使用量子行为粒子群优化算法(QPSO)来确定最佳的打印参数;随后又探究了这些工艺参数对 FDM 制品的拉伸强度、抗弯强度和抗冲击强度的影响^[6]。Lee et al^[7]使用田口方法确定了影响 FDM 制品的力学性能的主要工艺参数。

基于近年来的研究成果,可知打印层厚、打印方向、打印角度、沉积纤维间距和纤维宽度等打印参数显著地影响 FDM 制品的力学性能。文中建立了在填充率为 90%,并保持无关参数固定的情况下,FDM 制品的拉伸强度和抗弯强度与纤维铺设角度、打印层厚和纤维宽度间复杂关系的经验模型。在建立成型体拉伸强度与打印参数的经验模型时使用的是全因子分析法,在建立成型体抗弯强度与打印参数的经验模型时使用的是中心复合表面设计法。

1 熔融沉积成型(FDM)工艺

1.1 FDM 工艺原理

FDM 工艺是利用热塑性材料的热熔性、粘结性,在可编程逻辑控制器控制下逐层堆积成型^[8]。FDM 工

收稿日期:2018-05-04 网络出版日期:- 责任编辑:车轩玉 DOI:10.13319/j.cnki.sjztdxxbzb.20180504001

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1402.n.20191120.1354.005.html>

作者简介:及世良(1993—),男,硕士研究生,研究方向为 3D 打印物体的力学性能。E-mail:934761576@qq.com

及世良,郭树起.FDM 工艺成型体力学性能的数值分析[J].石家庄铁道大学学报:自然科学版,2019,32(4):27-34.

艺的成型原理及所用 FDM 打印机分别见图 1 和图 2。该工艺使用的材料主要为热塑性工程塑料(如 ABS、PLA)或者尼龙等^[9]。简单地说,FDM 工艺成型体是由打印喷头挤出一根根纤维状材料堆积起来的,纤维与纤维之间的粘合靠的是打印材料本身的热塑性。从喷头挤出的纤维状材料形状为圆柱形,当纤维沉积在打印平台或者已经冷却成型材料上时,由于重力的作用,纤维截面会变成椭圆形。这种特点决定了 FDM 工艺成型体是由纤维状材料和其间的微小孔隙构成,也就导致该工艺成型体的力学强度比不上传统的注塑成型。因此可以得出一个简单的结论,即 FDM 工艺成型体内部的孔隙比例越低,其力学性能越好。

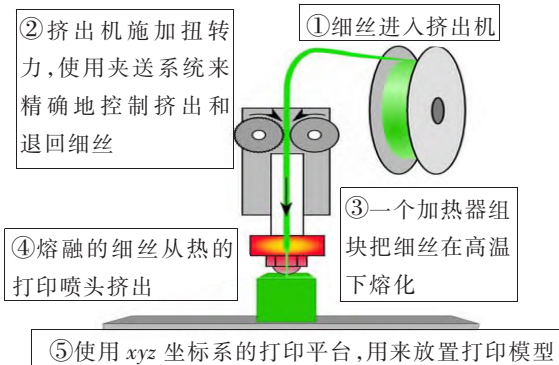


图 1 FDM 工艺原理

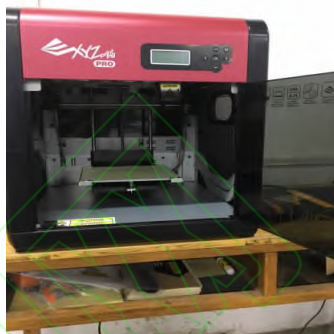


图 2 FDM 打印机

1.2 打印过程

首先,准备一台 3D 打印机和足够的打印材料。然后,准备好需要打印的物体的 3D 模型文件,模型文件的格式必须是 STL 格式或者 OBJ 格式,且模型必须是封闭的。确认无误后,启动快速成型切片软件,导入需要打印的模型文件,设置打印参数,进行分层处理,这时会生成一个相应的 G-code 文件(G-code 文件包含成型物体需要的所有信息,包括温度、速度和路径信息等)。最后,将 G-code 文件导出到快速成型系统,就可以直接打印出该 3D 模型。同时也可以将 G-code 文件储存下来,方便下次直接使用。

1.3 基本设置

1.3.1 仪器与软件

(1)力学性能测试仪器:电子万能试验机(型号:DNS20 功率:750 W);(2)FDM 打印机型号:XYZ-Printing 红爵 pro 1.0;(3)打印材料:ABS 工程塑料(桔色,直径 1.75 mm);(4)切片软件:Simplify 软件。

1.3.2 固定参数

(1)喷头直径:0.4 mm;(2)喷头温度:210 °C;(3)打印平台温度:90 °C(由于机器自身的限制);(4)截面轮廓实体圈数:2 圈;(5)实体层:最下层和最上层;(6)打印方向:试样轴向与打印 x 轴方向平行,试样横向与打印 y 方向平行,试样厚度方向与打印 z 轴方向平行。另外,在每层的打印过程中,都是首先对截面轮廓进行铺设,然后进行内部铺设。为了打印的试样能够更精确地成型,同时为了保证准确的试验结果,选择截面轮廓填充圈数为 2 圈,最上层和最下层为实体(100%)填充,±45°铺设。

1.3.3 研究参数

(1)层厚:打印时,每个沉积层选取的厚度 h ;(2)纤维铺设角度:打印每一层时,挤出的纤维状材料的铺设角度 θ ,以与打印平台 x 轴平行方向为 0°,或者与 x 轴垂直为 90°,取逆时针方向为正;(3)纤维宽度:沉积在每层上的每根纤维状 ABS 材料的路径宽度 d ;(4)填充率:填充比例,100%是实体填充。

2 FDM 工艺成型体拉伸强度的统计学分析

2.1 FDM 试样拉伸试验

2.1.1 拉伸试验设计

遵照塑料拉伸性能国家标准 GB/T 1040—2006^[10]对 FDM 试样进行拉伸试验。试样形状选用 I B 型试样,厚度为 4 mm。拉伸试验中,可改变的因子共有 3 个,即层厚 h 、铺设角度 θ 和纤维宽度 d 。采用全因子分析方法,每个因子取 4 个水平,每组试样至少进行 3 次试验。

2.1.2 拉伸试验结果

打印的部分试样见图 3 所示,试样拉伸断裂方式如图 4 所示,可以直观地看出断裂角度与纤维铺设角度之间的关系。



图 3 打印的拉伸试样

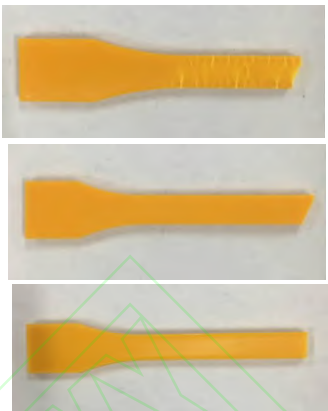


图 4 试样拉伸断裂方式(0°、45°和 90°)

通过公式 $\sigma_{拉} = \frac{F_{拉}}{b \cdot t}$ 计算成型试样的拉伸强度,拉伸试验的结果如表 1 所示。

表 1 拉伸试验测试结果

编号	层厚 <i>h</i> /mm	纤维宽度 <i>d</i> /mm	铺设角度 $\theta/(^{\circ})$	拉伸 强度 <i>T</i> /MPa	编号	层厚 <i>h</i> /mm	纤维宽度 <i>d</i> /mm	铺设角度 $\theta/(^{\circ})$	拉伸强度 <i>T</i> /MPa
1	0.15	0.40	0	30.713	33	0.25	0.40	0	34.044
2	0.15	0.40	30	12.300	34	0.25	0.40	30	25.100
3	0.15	0.40	60	7.725	35	0.25	0.40	60	14.883
4	0.15	0.40	90	7.150	36	0.25	0.40	90	9.630
5	0.15	0.45	0	33.250	37	0.25	0.45	0	30.683
6	0.15	0.45	30	29.225	38	0.25	0.45	30	29.717
7	0.15	0.45	60	11.733	39	0.25	0.45	60	26.050
8	0.15	0.45	90	10.450	40	0.25	0.45	90	20.825
9	0.15	0.50	0	32.042	41	0.25	0.50	0	32.292
10	0.15	0.50	30	22.288	42	0.25	0.50	30	25.942
11	0.15	0.50	60	10.133	43	0.25	0.50	60	20.192
12	0.15	0.50	90	10.175	44	0.25	0.50	90	12.642
13	0.15	0.55	0	35.200	45	0.25	0.55	0	33.000
14	0.15	0.55	30	30.133	46	0.25	0.55	30	28.717
15	0.15	0.55	60	11.192	47	0.25	0.55	60	23.383
16	0.15	0.55	90	10.733	48	0.25	0.55	90	12.117
17	0.20	0.40	0	34.040	49	0.30	0.40	0	35.608
18	0.20	0.40	30	16.933	50	0.30	0.40	30	29.450
19	0.20	0.40	60	12.069	51	0.30	0.40	60	22.000
20	0.20	0.40	90	8.275	52	0.30	0.40	90	22.242
21	0.20	0.45	0	34.483	53	0.30	0.45	0	28.742
22	0.20	0.45	30	30.375	54	0.30	0.45	30	21.200
23	0.20	0.45	60	14.263	55	0.30	0.45	60	19.500
24	0.20	0.45	90	11.033	56	0.30	0.45	90	18.142
25	0.20	0.50	0	34.567	57	0.30	0.50	0	34.625
26	0.20	0.50	30	27.017	58	0.30	0.50	30	33.175
27	0.20	0.50	60	12.558	59	0.30	0.50	60	22.908
28	0.20	0.50	90	11.025	60	0.30	0.50	90	15.067
29	0.20	0.55	0	31.492	61	0.30	0.55	0	32.917
30	0.20	0.55	30	26.917	62	0.30	0.55	30	25.783
31	0.20	0.55	60	12.500	63	0.30	0.55	60	19.100
32	0.20	0.55	90	10.975	64	0.30	0.55	90	14.075

2.2 拉伸试验结果分析

2.2.1 经验模型(拉伸)的建立

使用 Minitab 软件对拉伸试验数据进行回归分析,建立了成型体拉伸强度与各显著因子间的函数关系: $T_{\text{拉伸}} = 122.2h + 65.75d + 0.4029\theta - 245.1hd + 0.749h\theta$ 。

图 5 为铺设角度取 45° 时,成型体的拉伸强度与纤维宽度和层厚的等值线图。可以看出层厚为 0.15 mm 时,成型体的拉伸强度随着纤维宽度的增加而增强;而随着层厚的增加,纤维宽度对其影响越来越小。图 6 为线宽取 0.475 mm 时,成型体拉伸强度与铺设角度和层厚的等值线图。可以看出铺设角度对于成型体拉伸强度的影响一直很大。但随着层厚的增加,纤维的铺设角度对成型体拉伸强度的影响呈减少趋势。

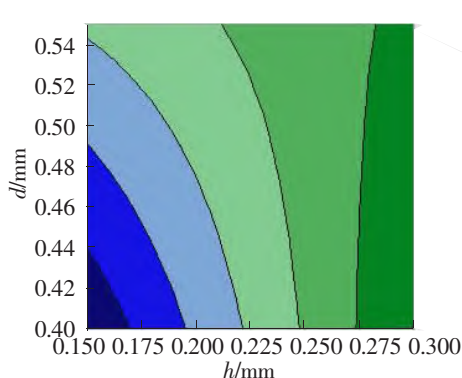


图 5 拉伸强度与 $d-h$ 等值线图

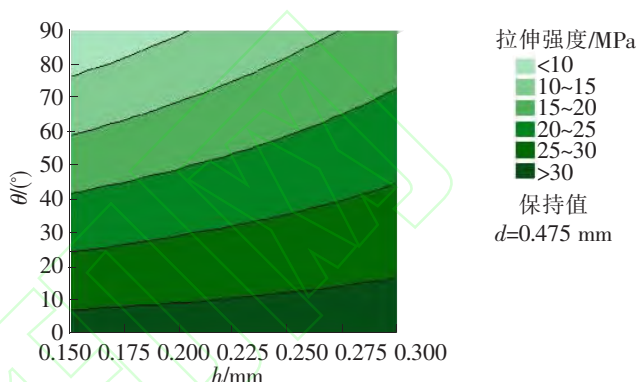


图 6 拉伸强度与 $\theta-h$ 等值线图

图 7 为铺设角度取 45° 时,拉伸强度与纤维宽度-层厚的曲面图;图 8 为纤维宽度取 0.475 mm 时,拉伸强度与铺设角度-厚度的曲面图。

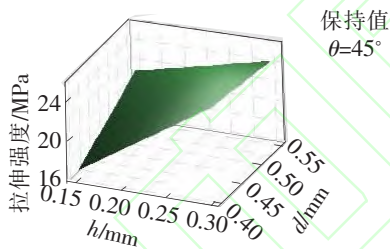


图 7 拉伸强度与 $d-h$ 响应曲面图

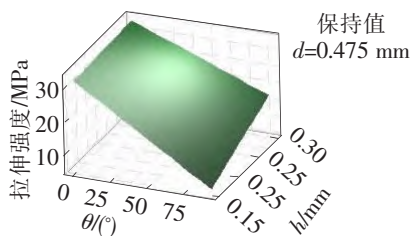


图 8 拉伸强度与 $h-\theta$ 响应曲面图

2.2.2 拉伸强度模型验证

为验证该模型的准确性,设置了 2 组验证试验,厚度分别设置为 0.18 mm 和 0.27 mm,纤维宽度设置为 0.43 mm 和 0.52 mm,铺设角度设置为 20° 和 70° 。试验值与理论值的对比见表 2 所示,结果表明取得了很好的一致性。基于此经验模型,通过响应优化器可以得到成型试样获得最大拉伸强度时的参数设定: $h = 0.15 \text{ mm}$, $d = 0.55 \text{ mm}$, $\theta = 0^\circ$ 。选取该参数设置,得出拉伸强度依次为:34.075 MPa、35.5 MPa 和 36.025 MPa。

表 2 拉伸-预测结果与试验对照

层厚/mm	角度/($^\circ$)	线宽/mm	试验值/MPa	拟合值/MPa	拟合值标准误差	95%置信区间	95%预测区间
0.18	20	0.43	26.850	25.940 0	0.741 454	(24.456, 27.423)	(18.349, 33.530)
0.27	70	0.52	17.133	18.729 0	0.863 650	(17.000, 20.457)	(11.087, 26.370)
0.15	0	0.55	35.200	34.274 5	1.509 07	(31.254, 37.294)	(26.241, 42.307)

2.2.3 成型体拉伸性能归纳

根据拉伸强度的经验模型,挤出材料的铺设角度对成型试样拉伸强度的影响最大,层厚次之。铺设

角度越大,成型试样拉伸强度越小;层厚越大,拉伸强度越大。另外,对于成型试样的拉伸强度,层厚与铺设角度和层厚与纤维宽度间均存在交互作用。

在铺设角度取 45° 时,随着层厚的增加,纤维宽度对其影响越来越小。当层厚为 0.15 mm 时,纤维宽度从 0.40 mm 增加到 0.55 mm,试样的拉伸强度从 17 MPa 左右增加到 21 MPa 以上;当层厚为 0.30 mm 时,改变纤维宽度,成型试样拉伸强度始终保持在 25 MPa 左右。

同时,在纤维宽度取 0.48 mm 时,随着层厚的增加,铺设角度对成型试样拉伸强度影响也越来越小。在层厚为 0.15 mm 时,铺设角度从 0° 增加到 90° ,试样的拉伸强度从 32 MPa 左右减小到 6 MPa 左右;在层厚为 0.30 mm 时,同样改变铺设角度,试样的拉伸强度从 33 MPa 左右减少到 17 MPa 左右。

成型试样在层厚为 0.15 mm,纤维宽度为 0.40 mm,铺设角度为 90° 时,成型试样的拉伸强度最小,低于 10 MPa;在层厚为 0.15 mm,纤维宽度为 0.55 mm,铺设角度为 0° 时,成型试样取得最大的拉伸强度,为 34 MPa 左右。考虑到层厚越大试样打印时间越短,因此可以选择 0.3 mm 的层厚和 0° 的纤维铺设方向。这样既可以保证快速成型,还能使成型体具有较大的拉伸强度。要注意的是,层厚会影响成型精度。

3 FDM 工艺成型体弯曲强度的统计学分析

3.1 FDM 试样弯曲试验

3.1.1 弯曲试验设计

采用简支梁三点加载测定 FDM 工艺成型试样的弯曲强度,遵照塑料弯曲性能国家标准 GB/T 9341—2008^[11] 对 FDM 试样进行试验。试样长度为 120 mm,宽度为 15 mm,厚度为 6 mm。在弯曲试验中,可改变的因子共有 3 个,使用中心复合表面设计(CCF)法来选取参数。选取 8 个立方点,6 个中心点和 6 个轴向点,共产生了 20 组试样,每组弯曲试样至少进行 3 次试验。

3.1.2 弯曲试验结果

同拉伸试验类似,铺设角度不同的成型试样,在特定压力下破坏面的方向不同。试样弯曲断裂方式见图 9、图 10 和图 11 所示,可以直观地看出断裂角度与纤维铺设角度之间的关系。



图9 弯曲试样断裂方式(0°)



图10 弯曲试样断裂方式(45°)



图11 弯曲试样断裂方式(90°)

FDM 成型试样的弯曲强度计算式为 $\sigma_{\text{弯曲}} = \frac{M_{\text{max}}}{W_z} = \frac{3P_{\text{mid}} \cdot l_{\text{跨}}}{2b \cdot t^2}$ ($M_{\text{max}} = \frac{P_{\text{mid}} l_{\text{跨}}}{4}$, $W_z = \frac{b \cdot t^2}{6}$), 其中, P_{mid}

为试样破坏时施加在试样中间的最大弯曲荷载; $l_{跨}$ 是试样跨度(该试验中 $l_{跨} = 80\text{ mm}$); b 为试样宽度; t 为试样厚度。试验结果如表 3 所示。

表 3 弯曲试验测试结果

编号	层厚 h/mm	纤维宽度 d/mm	铺设角度 $\theta/(\text{^\circ})$	弯曲 强度 F/MPa	编号	层厚 h/mm	纤维宽度 d/mm	铺设角度 $\theta/(\text{^\circ})$	弯曲 强度 F/MPa
1	0.150	0.40	0	49.855	11	0.225	0.40	45	43.358
2	0.300	0.40	0	51.226	12	0.225	0.55	45	53.688
3	0.150	0.55	0	54.044	13	0.225	0.48	0	56.152
4	0.300	0.55	0	54.889	14	0.225	0.48	90	40.320
5	0.150	0.40	90	13.338	15	0.225	0.48	45	41.983
6	0.300	0.40	90	31.718	16	0.225	0.48	45	40.490
7	0.150	0.55	90	11.629	17	0.225	0.48	45	47.806
8	0.300	0.55	90	41.035	18	0.225	0.48	45	44.330
9	0.150	0.48	45	39.698	19	0.225	0.48	45	46.068
10	0.300	0.48	45	47.403	20	0.225	0.48	45	48.405

3.2 弯曲试验结果分析

3.2.1 经验模型(弯曲)的建立

通过方差分析得出层厚(及其二次项)、铺设角度(主效应)和层厚-铺设角度(交互作用)对成型试样弯曲强度的影响是显著的,而纤维宽度和其它因子与其交互项的影响很小,可忽略不计。可以得出成型试样的抗弯强度与各因子之间的函数关系: $T_{拉伸} = 122.2h + 65.75d - 0.402\ 9\theta - 245.1hd + 0.749h\theta$ 。

图 12 为成型试样的抗弯强度与铺设角度-层厚的等值线图。可以看出在层厚为 0.30 mm 时,无论纤维铺设角度如何增加,FDM 工艺成型试样的抗弯强度都较大;但当层厚取 0.150 mm 时,铺设角度对成型试样弯曲强度的影响则十分显著。图 13 为 FDM 工艺试样的弯曲强度与层厚-铺设角度的曲面关系图。

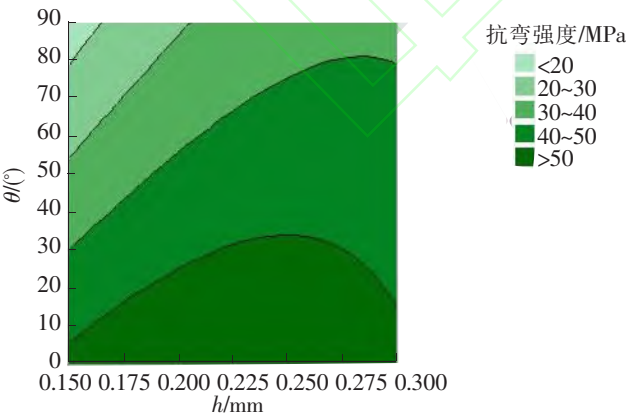


图 12 抗弯强度与 h - θ 等值线图

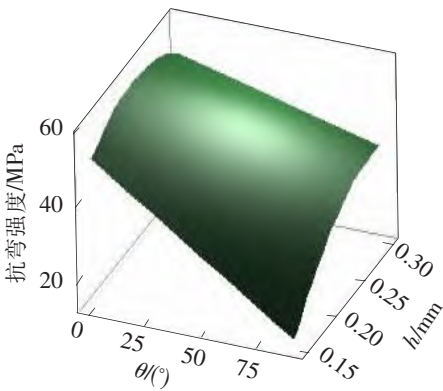


图 13 抗弯强度与 h - θ 响应曲面图

3.2.2 抗弯强度模型验证

为验证该弯曲模型的准确性,设置了 2 组验证试验,单层厚度分别设置为 0.18 mm 和 0.27 mm,铺设角度设置为 20°和 70°。模型预测见表 4 所示,结果表明该模型能较好地预测特定水平下 FDM 成型试样的弯曲强度。基于此经验模型,使用响应优化器得到成型试样在弯曲强度最大时的参数设置: $h = 0.225$

mm, $\theta = 0^\circ$ 。使用该打印参数,得出弯曲强度依次为:55.691 MPa、56.889 MPa 和 56.755 MPa。

表 4 弯曲-预测结果与试验对照

铺设角度/(°)	层厚/mm	试验值/MPa	拟合值	拟合值标准误差	95%置信区间	95%预测区间
20	0.18	53.086	49.397 1	1.591 19	(46.023,52.770)	(39.548,59.246)
70	0.27	41.223	42.025 1	1.569 67	(38.697,43.352)	(32.191,51.858)
0	0.225	56.445	58.982 5	1.802 54	(55.161,62.803)	(48.971,68.994)

3.2.3 成型体弯曲性能归纳

根据弯曲强度的经验模型,层厚和铺设角度对成型试样弯曲强度的影响显著,纤维宽度对弯曲强度的影响可以忽略。铺设角度越大,成型试样弯曲强度越小;层厚在 0.15 mm 与 0.30 mm 之间取某一值时,试样取得最大的弯曲强度。另外,层厚和铺设角度间的交互作用对试样弯曲强度的影响是显著的。

层厚为 0.15 mm 时,铺设角度从 0° 增加到 90° ,试样弯曲强度从 52 MPa 左右减小到 26 MPa 左右;层厚为 0.30 mm 时,同样改变铺设角度,试样的弯曲强度从 52 MPa 左右减小到 39 MPa 左右。在不同的铺设角度,试样取得最大弯曲强度对应的层厚不一致,但都位于 0.225 mm 与 0.30 mm 之间;铺设角度越大,试样取得最大弯曲强度对应的层厚越偏向于 0.30 mm。

成型试样在层厚为 0.15 mm,铺设角度为 90° 时,成型试样的弯曲强度最小,低于 15 MPa;在层厚为 0.225 mm,铺设角度为 0° 时,成型试样取得最大的弯曲强度,为 58 MPa 左右。

4 结论与展望

在前人研究基础上,结合 FDM 快速成型产品力学性能研究的实际情况,通过控制固定的填充率、打印速度和环境温度等参数,确定了 FDM 制品的力学强度与层厚、纤维宽度和铺设角度之间的函数关系,来预测特定参数设置下 FDM 制品的力学性能,得出如下结论。

(1)如果要使成型体同时获得较大的拉伸强度和弯曲强度,可以设定层厚为 0.30 mm,铺设角度为 0° 。

(2)铺设角度能明显地影响 FDM 成型体的力学性能,铺设角度越大,其力学性能越差;随着层厚的增加,铺设角度与成型体力学性能的负相关性大大减弱。

(3)纤维宽度对成型体的弯曲强度没有影响,对其拉伸强度的影响也很小;在层厚较小(0.15 mm)时,纤维宽度越大,成型体的拉伸强度越大,随着层厚的增加,纤维宽度对其拉伸强度影响越来越小,但无论层厚如何变化,纤维宽度对成型体拉伸强度的影响一直很小。

(4)该模型也存在一些问题,如拉伸强度模型预测的波动值约为 ± 3.7 MPa,抗弯强度模型预测的波动值约为 ± 4.4 MPa。另外,在对所有数据进行拟合时,拉伸强度模型拟合时 2 个数据偏差较大。因此应用该经验模型预测任意打印参数对应的成型试样的力学强度时有一定的局限性。

(5)文中没有引入沉积纤维间距这个概念,而改用填充率这个参数,使本研究建立在了宏观的尺度上。当填充率提高到一定值(98%左右)时,试样的成型精度会变得很差;当填充率达到 95%以上时,无论选用怎样的打印参数,FDM 成型试样的力学强度都很高,且打印参数对 FDM 试样力学性能的影响不再明显。这可能是由于填充率越接近 100%,FDM 制品的内部结构越接近于传统制造成型的内部构造,即内部孔隙趋于消失的缘故。

本文没有对该工艺成型体的细观结构进行探究,为了更好地理解 FDM 工艺成型体的力学行为,下一步会从该工艺成型体的细观结构入手进行研究。

参 考 文 献

[1]高晓东, 杨卫民, 迟百宏,等. 聚酰胺 12 制品 3D 打印成型力学性能研究[J]. 中国塑料, 2015,29(12):73-76.
[2]余旺旺, 张杰, 吴金绒,等. 打印方式对熔融沉积(FDM)产品力学性能的影响[J]. 塑料工业, 2016, 44(8):41-43.
[3]Mohamed O A, Masood S H, Bhowmik J L. Mathematical modeling and FDM process parameters optimization using re-

- sponse surface methodology based on Q-optimal design[J]. Applied Mathematical Modelling, 2016, 40 (23/24): 10052-10073.
- [4]Rayegani F, Onwubolu G C. Fused deposition modelling (FDM) process parameter prediction and optimization using group method for data handling (GMDH) and differential evolution (DE)[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2014, 73(1-4):509-519.
- [5]Sood A K, Ohdar R K, Mahapatra S S. Experimental investigation and empirical modelling of FDM process for compressive strength improvement[J]. Journal of Advanced Research, 2012, 3(1):81-90.
- [6]Sood A K, Ohdar R K, Mahapatra S S. Parametric appraisal of mechanical property of fused deposition modelling processed parts[J]. Materials & Design, 2010, 31(1):287-295.
- [7]Lee B H, Abdullah J, Khan Z A. Optimization of rapid prototyping parameters for production of flexible ABS object[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2005, 169(1):54-61.
- [8]张学军, 唐思熠, 肇恒跃, 等. 3D 打印技术研究现状和关键技术[J]. 材料工程, 2016, 44(2):122-128.
- [9]Brian Evans. 解析 3D 打印机[M]. 北京:机械工业出版社, 2014.
- [10]中华人民共和国国家标准化管理委员会. GB/T 1040—2006 塑料拉伸性能的测定[S]. 北京:中国标准出版社, 2006.
- [11]中华人民共和国国家标准化管理委员会. GB/T 9341—2008 塑料弯曲性能的测定[S]. 北京:中国标准出版社, 2008.

Numerical Analysis of Mechanical Property of Fused Deposition Modeling Parts

Ji Shiliang, Guo Shuqi

(Department of Engineering Mechanics, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang, 050043, China)

Abstract: 3D printing technology is a general term of a series of rapid prototyping technologies. It is a technology based on digital model files, which can produce objects by printing layer by layer. FDM process is the most widely used process in 3D printing technology at present. The mechanical strength of the forming parts mainly depends on the setting of printing parameters. This study studies the complex relationship between mechanical properties of ABS-material-parts printed by FDM process and printing parameters (including thickness of printing layers, width of deposited fibers, and angle of laying fibers). The quantitative relationship between mechanical strength and printing parameters of FDM products is determined by design of experiment (DOE), which provides theoretical support for direct manufacturing of functional products using 3D printing technology.

Key words: FDM process; mechanical property; printing parameter; DOE