

FDM 工艺精度影响因素的实验分析

郭文霞,吴永军,刘海亮

(内蒙古工业大学,内蒙古 呼和浩特 010051)

摘要:随着桌面式熔融沉积(FDM)技术的快速发展,试件的成型精度成为影响FDM发展的关键因素之一。通过实验对FDM加工过程中的打印速度、填充率、层片厚度、SolidWorks模型转化对精度的影响以及打印件的摆放方式等因素对打印件质量的影响进行详细分析,提出改善试件成型精度的实用性意见,可为后续提高FDM 3D打印试件精度提供参考。

关键词:熔融沉积成型;3D打印;工艺精度;实验分析

中图分类号:TH161 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2023)05-0100-04

Experimental Analysis on Influence Factors of FDM Process Accuracy

GUO Wenxia, WU Yongjun, LIU Hailiang

(Inner Mongolia University of Technology, Hohhot 010051, China)

Abstract: With the rapid development of desktop melt deposition (FDM) technology, the forming accuracy of specimen has become one of the key factors affecting the development of FDM. Through experiments, analyzes in detail the influence of printing speed, filling rate, layer thickness, SolidWorks model transformation on accuracy and the placement mode of printed parts on the quality of printed parts in the process of FDM processing, and puts forward practical suggestions to improve the forming accuracy of test pieces, which can provide reference for improving the accuracy of FDM 3D printing test pieces in the future.

Keywords: melt deposition molding; 3D printing; process accuracy; experimental analysis

0 引言

熔融沉积成型(FDM)技术是一种快速成型技术。这种技术之所以能得到快速发展,主要是因为该技术复杂性低,成本低廉,软件开源,易于推广^[1],所以目前在各行各业都得到了广泛的应用。在FDM成型加工过程中,每一个环节都可能会引起误差,这些误差严重影响了FDM制品的成型精度^[2-3]。本文从试件的精度方面考虑,通过对试件的加工试验,对FDM加工过程中打印件的打印速度、填充率、层片厚度、SolidWorks模型转化过程中对精度的影响以及打印件的摆放方式等因素对打印件质量的影响进行了分析研究,希望能够为后续的成型试件精度分析提供一些理论参考依据。

1 FDM 快速成型的工艺原理

FDM机械系统主要包括喷头、送丝机构、运动机构、加热熔化腔、工作台5个部分组成^[4]。其工作原理是将丝状的热塑性材料加热熔化,通过带有一个微细喷嘴的喷头挤喷出来。喷头装置在计算机的控制下,可根据加工工件截面轮廓的信息作 x, y 平面运动,而工作台则作 z 方向垂直运动。热塑丝材(ABS、蜡丝及尼龙丝等)由供丝机构送

至喷头,并在喷头中加热至熔融状态,然后被选择性地涂覆在工作台上,快速冷却后形成加工工件截面轮廓。当一层成型完成后,工作台下降一截面层的高度,喷头再进行下一层的涂覆,如此循环,最终形成三维制品^[5]。

2 实验设备及材料

本试验中所使用机型为桌面式3D打印机UP BOX+,机型外观如图1所示,内部结构如图2所示。成型工艺为熔融沉积成型技术,成型空间:255 mm×205 mm×205 mm,层厚:0.1 mm~0.4 mm,切片软件为UP Studio。丝材选用 $\Phi 1.75$ mm的ABS作为打印材料,其稳定性好,是一种强度高、韧性好、易于加工成型的热塑性高分子材料。ABS可以在25℃~60℃的环境下表现正常,270℃时达到熔点,而且有很好的成型性。



图1 UP BOX+ 3D打印机外形

基金项目:内蒙古自治区高等学校科学研究项目(NJZZ21019)

第一作者简介:郭文霞(1979—),女,内蒙古呼和浩特人,高级实验师,硕士,研究方向为材料科学及3D打印技术,53833925@qq.com。

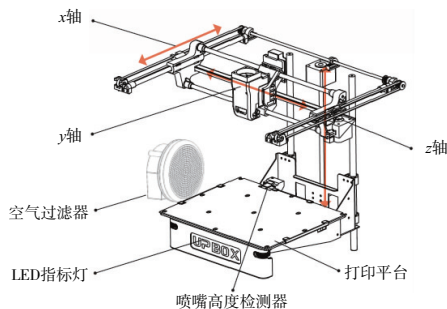


图2 UP BOX+ 3D 打印机内部结构

3 FDM 试件精度的影响因素分析

3.1 SolidWorks 模型转化过程中的精度影响

本次实验中设计的试件模型都是利用 SolidWorks 软件完成,之后再模型转换成打印机能够识别的 STL 格式文件。STL 文件原理主要是用三角面的形式来近似地模拟任意曲面模型或者实体模型,三角面越小其生成的表面分辨率越高。STL 格式文件是通过打印机自带的程序 UP Studio 进行分层切片处理,通过 UP Studio 将每一层的切片信息传递给打印机,再将模型打印出来。在对模型进行分层处理的过程中会产生一定的误差,因为分层具有一定的厚度,分层的厚度也会直接影响打印时的精度^[6]。

通过以上的试验发现,STL 文件误差可以通过增加三角形平面网格的数目以有效地减少误差,同时在对模型进行切片处理时,尽可能地减小分层的厚度也会降低误差损失^[7]。

3.2 打印速度对试件精度的影响

1) 试验方案

实验采用规格为 $\Phi 1.75$ mm 的 ABS 作为打印材料,使用桌面型 FDM 3D 打印机制作长方体试件,试件的尺寸为 $20\text{ mm} \times 20\text{ mm} \times 100\text{ mm}$,实验模型打印参数如表 1 所示,打印出的模型如图 3 所示。

表1 打印速度实验模型参数

试件编号	喷头温度/ $^{\circ}\text{C}$	层片厚度/ mm	填充率/ $\%$	打印速度	打印时间/ min	丝材消耗/ g
1	270	0.2	13	默认	66	13.3
2	270	0.2	13	较好	84	13.3
3	270	0.2	13	较快	56	13.3
4	270	0.2	13	极快	55	13.3



图3 实验打印的模型

2) 实验结果分析

对于 FDM 工艺而言,喷头运动速度即为打印速度^[8],当打印速度过快时,喷头会因步进电机失步、传动带与齿轮之间存在间隙等现象造成打印机出现较大误差,导致模型的表面质量下降^[9]。

图 3 是在喷头温度、层片厚度、填充率、丝材消耗同等参数条件下,采用不同的打印速度所打印模型的效果图。从图中可以明显看出 1 号试件、2 号试件的打印效果非常好,仔细观察还会发现 1 号试件模型的纹路要比 2 号试件的纹路稍微粗糙一些。但 2 号试件打印的时间会更长一些。3 号试件、4 号试件打印质量出现瑕疵,模型棱边上都有很明显凹凸不平的痕迹。分析原因:是因为所选择模型的打印速度较快和极快,也就是打印模型的速度太快,导致喷头因惯性而出现偏移。

结论:在参数同等条件下,在 UP Studio 打印程序中选择打印速度时可以选择默认和较好。如果不考虑打印时间的长短,选择打印速度为较好,打印出的模型质量是最好的。

3.3 填充率对打印试件精度的影响

1) 试验方案

实验采用规格为 $\Phi 1.75$ mm 的 ABS 作为打印材料,使用桌面型 FDM 3D 打印机分别制作两种不同形状的模型。模型实验打印参数如表 2 所示,打印出的模型如图 4 所示。

表2 填充率实验模型参数

试件编号	尺寸/ mm	喷头温度/ $^{\circ}\text{C}$	层片厚度/ mm	填充率/ $\%$	质量 (打印速度)
长方体 1 号	$10 \times 10 \times 50$	270	0.2	0	默认
长方体 2 号	$20 \times 20 \times 50$	270	0.2	0	默认
长方体 3 号	$30 \times 30 \times 50$	270	0.2	0	默认
长方体 4 号	$40 \times 40 \times 50$	270	0.2	0	默认
圆柱体 1 号	$\Phi 10 \times 50$	270	0.2	0	默认
圆柱体 2 号	$\Phi 20 \times 50$	270	0.2	0	默认
圆柱体 3 号	$\Phi 30 \times 50$	270	0.2	0	默认
圆柱体 4 号	$\Phi 40 \times 50$	270	0.2	0	默认

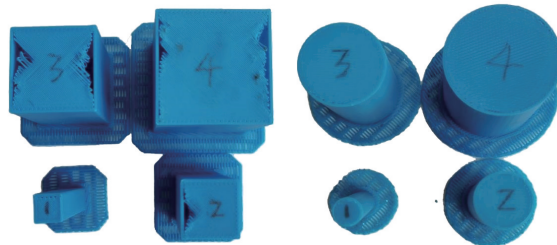


图4 实验打印的长方体、圆柱体模型

2) 实验结果分析

本次实验中有一种填充方式为无填充方式(填充率为 0%),也就是将打印试件的表面和底面封闭,而中间是空的。选择的填充方式如图 5 所示。



图5 填充率 0%

试件所选的尺寸都相同,只是形状不同。打印的结果却大相径庭。从图中发现长方体除了 1 号试件的模型表面完全封闭,其他 3 个模型的表面都没有完全封闭,所以打印模型失败。而圆柱体的 4 个试件表面都能完全封闭,所以模型打印成功。

分析原因:经过仔细观察研究认为,长方体的封面之所以没有完全封住,是因为喷嘴的封面轨迹问题,如图 6(a)所示。圆弧与直线的连接处丝材接触面小,连接的地方有时可以粘住,有时粘不住,所以导致模型的表面封不住。而圆柱体封面的轨迹如图 6(b)所示。圆弧与圆

弧的连接处接触面大一些,所以丝材能够粘连,模型的表面也就封住了。

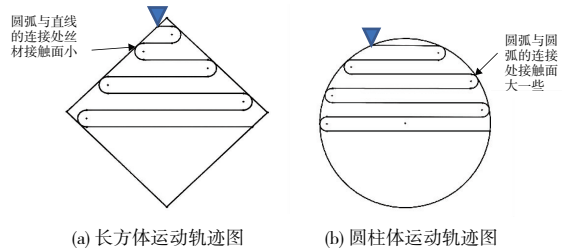


图6 喷嘴封面轨迹图

结论:当打印的模型为圆柱体时,填充方式完全可以选择无填充,既可以节省材料,又可以节省时间。当打印的模型为长方体时则不建议使用无填充的方式。

3.4 层片厚度对打印试件精度的影响

1) 试验方案

实验采用规格为 $\Phi 1.75\text{ mm}$ 的 ABS 作为打印材料,使用桌面型 FDM 3D 打印机制作模型。采用层厚 0.2 mm 打印的 1 号试件;采用层厚 0.35 mm 打印的 2 号试件和 3 号试件。模型实验打印参数如表 3 所示,模型的角度如图 7 所示,打印出的模型如图 8 所示。

表3 层片厚度实验模型参数

试件编号	尺寸/mm	喷头温度/ $^{\circ}\text{C}$	层片厚度/mm	填充率/%	打印速度	角度/ $(^{\circ})$	打印时间/min	丝材消耗/g
1	10×20×30	270	0.20	20	默认	30	24.7	4.3
2	10×20×30	270	0.35	20	默认	30	14.2	5.0
3	10×20×60	270	0.35	20	默认	60	19.1	6.7

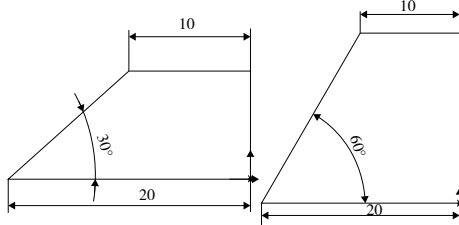


图7 模型的角度图



图8 实验打印的模型

2) 实验结果分析

层片厚度是指快速成型过程中打印模型时每一层的打印厚度。FDM 工艺是一种由下至上逐层堆叠成型技术,故每层堆叠的层高对于制品精度有重大影响。尤其是试

件具有斜面的情况下,侧表面就会出现阶梯一样的不连续现象,导致成型件表面粗糙度变差^[10]。

分析:从图 8 中不难看出,采用层片厚度 0.2 mm 打印的 1 号试件要比采用层片厚度 0.35 mm 打印的 2 号试件表面要光滑得多,精度也高得多。由此得出一个结论:当角度相同的条件下,层片厚度越大,模型表面就会越粗糙,说明精度也越低,试件的台阶效应越明显。而对比图 8 中的 2 号试件和 3 号试件,2 号试件和 3 号试件都是选用层片厚度 0.35 mm,角度分别是 30° 和 60° 。可以明显看出,2 号试件要比 3 号试件粗糙得多。

结论:当层片厚度相同时,角度越小,模型表面越粗糙,试件的台阶效应越明显。因此在打印模型时需要选取一个合适的层片厚度,既能保证模型的质量又能提高快速成型效率。

3.5 摆放形式对打印试件的影响

1) 实验方案

实验采用规格为 $\Phi 1.75\text{ mm}$ 的 ABS 作为打印材料,使用桌面型 FDM 3D 打印机制作模型。采用层厚 0.2 mm 打印 3 个同样的试件,只是摆放形式有所不同。模型实验打印参数如表 4 所示,打印出的模型如图 9 所示。

表4 摆放形式实验模型参数

试件编号	喷头温度/℃	层片厚度/mm	填充率/%	打印速度	打印时间/min	丝材消耗/g
1	270	0.2	20	默认	23.3	3.8
2	270	0.2	20	默认	27.1	4.2
3	270	0.2	20	默认	29.0	5.3

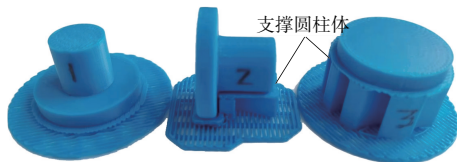


图9 不同的摆放形式打印出的模型

2) 实验结果分析

试件的摆放形式对试件的效率和精度的影响同样也非常大。从表4和图9中可以看出,在打印参数相同的情况下,从打印时间和丝材消耗量及试件的后处理等因素方面考虑,打印时试件的摆放形式优先选择1>2>3。因为1号试件的打印时间最短,丝材消耗量也最少,支撑也更多,而且试件这样摆放,不仅提高了打印效率,对模型的精度影响也最小。2号试件UP Studio打印程序需要在横放圆柱体下面自动选择填充支撑,否则将无法打印。3号试件由于是倒着放,大圆柱体下的空间更大,UP Studio打印程序自动选择更多的材料进行支撑。所以2号试件和3号试件所需支撑多,丝材消耗量也大,在后处理时剔除多余支撑材料时也较为复杂。

结论:试件的摆放形式对试件的效率和精度的影响同样也非常大,所以要根据情况来选择不同的摆放形式。

4 结语

影响FDM技术3D成型质量的因素很多,本文针对打印速度、填充率、层片厚度、摆放形式等实验对FDM试件

精度的影响因素进行了详细的分析,每一种实验均得出了实验结论。实验证明:只有将合理匹配的工艺参数与成型材料进行统筹考虑,才能整体提高3D成型件的质量,为提高FDM 3D打印试件精度提供一定的指导。

参考文献:

- [1] 杨思源. 基于FDM快速成型工艺的优化[J]. 北京服装学院学报(自然科学版),2012,32(1):70-76.
- [2] 邹宗鹏,杨琦,张卉,等. FDM制品精度主要工艺参数的试验分析[J]. 装备制造技术,2017(10):66-68.
- [3] 邹宗鹏. FDM工艺参数对成型制品表面粗糙度影响的研究[J]. 机械工程师,2015(2):177-178.
- [4] 邱海飞.3D打印成型工艺及其应用研究[J]. 中国塑料,2016,30(11):76-83.
- [5] 莫健华. 快速成形及快速制模[M]. 北京:电子工业出版社,2006:155.
- [6] 李星云,李众立,李理. 熔融沉积成型工艺的精度分析与研究[J]. 制造技术与机床,2014(9):152-156.
- [7] 韩善灵,元涛,李志勇,等. FDM工艺精度分析与试验研究[J]. 机床与液压,2017,45(23):90-94.
- [8] 马昊鹏,迟百宏,焦志伟,等. FDM工艺制品精度分析及优化方法[J]. 塑料,2017,46(3):92-95,102.
- [9] 杨鹏. 基于反馈控制的3D打印精度提升技术研究[J]. 机械制造与自动化,2021,50(5):19-22.
- [10] 张永,周天瑞,徐春晖. 熔融沉积快速成型工艺成型精度的影响因素及对策[J]. 南昌大学学报(工科版),2007,29(3):252-255.

收稿日期:2022-04-19

(上接第99页)

5 结语

将本文的仿真数据与实验结果进行对比,可以得到以下结论。

1)实测应力值与仿真计算理论值存在一定的偏差,但总体差值不大,证实该台架试验的方法与实验数据可靠。

2)通过实验数据对比可以看出,台架试验与仿真分析相辅相成,仿真数据更加精确,但是不能保证完全考虑到台架试验的不足,如安装精度、人工加载、作动器等带来的偏差问题,所以需要将二者进行结合,互相验证,使实验数据更加精准。同时也可以利用仿真数据对台架试验的实验方法进行改进。

参考文献:

- [1] 马广宇,曾京,汪群生. 基于城际动车组的踏面磨损预测及参数优化[J]. 机械制造与自动化,2019,48(4):32-36.
- [2] 何宙,郭平波,刘潮涛,等. 基于VDV 152—2016的低地板车辆构架载荷研究[J]. 机电传动,2019(1):87-91.
- [3] 陈瑶. 装配式单层空间网格结构双环节点力学性能研究[D]. 南京:东南大学,2017.
- [4] 赵磊,李梁京,赵峰强,等. 出口哈萨克斯坦地铁转向架的研制[J]. 铁道机车与动车,2020(3):14-16.
- [5] 吴梦. 圣保罗13号线地铁转向架构架的设计与验证[J]. 中国机械,2020(20):44-45.
- [6] 梁琦. 地铁车辆监造管理技术研究[D]. 北京:中国铁道科学研究院,2017.
- [7] 沙承玉,曹庆达,邹晓龙,等. 构架静强度及疲劳强度分析研究[J]. 中国机械,2019(2):59-60.

收稿日期:2022-04-11