

基于正交试验的FDM 3D打印工艺参数研究

王宏坤 丁慧芳 成丽娟 李成良子 吴梓琦

(北京计算机技术及应用研究所, 北京 100080)

文 摘 为了提高熔融沉积成型工艺打印件的尺寸精度、力学性能并减少打印时间成本,利用Creo Parametric 2.0软件设计了尺寸精度及力学试样的三维模型,并进行切片及打印。结合正交试验分析,研究了打印温度、打印速度、打印层厚对PLA及PETG-ESD鼓形试件打印尺寸精度的影响,得出打印速度为80 mm/s、打印温度为210 ℃、打印厚度为0.25 mm此组合尺寸误差是最小的结论。在上述组合下对力学试件进行拉伸及压缩试验,实验结果表明,蜂窝状填充方式在三者中拉伸强度及断裂力均为最高;当填充率增加时,试件的拉伸强度和弹性模量都有显著的提高;当模型壁厚增加时,试件的拉伸强度和弹性模量均有所提高。在压缩试验中,PETG-ESD材料比PLA强度要大。

关键词 3D打印,熔融沉积成型技术,正交试验,尺寸精度,力学实验

中图分类号:TQ320.66

DOI:10.12044/j.issn.1007-2330.2025.S1.015

Research on FDM 3D Printing Process Parameters Based on Orthogonal Experiments

WANG Hongkun DING Huifang CHENG Lijuan LI Chengliangzi WU Ziqi

(Beijing Institute of Computer Technology and Application, Beijing 100080)

Abstract To enhance the dimensional accuracy and mechanical properties, and reduce the printing time cost of the parts produced by the fused deposition modeling (FDM) process, the three-dimensional models of the dimensional accuracy and mechanical test samples were designed using Creo Parametric 2.0 software, and then sliced and printed. Combined with orthogonal experiments, the influences of printing temperature, speed and layer thickness on the dimensional accuracy of PLA and PETG-ESD drum-shaped test pieces were studied. The conclusion was drawn that the combination of printing speed of 80 mm/s, printing temperature of 210 ℃ and printing thickness of 0.25 mm resulted in the smallest dimensional error. Under the above combination, tensile and compressive tests were conducted on the mechanical test pieces. The experimental results showed that the honeycomb filling method had the highest tensile strength and breaking force among the three filling methods; when the filling rate increased, the tensile strength and elastic modulus of the test pieces significantly improved; when the wall thickness of the model increased, the tensile strength and elastic modulus of the test pieces also increased. In the compressive test, the PETG-ESD material had a higher strength than PLA.

Key words 3D printing, Melt deposition forming technology, Orthogonal test, Dimensional accuracy, Mechanical experiment

0 引言

3D打印,又名增材制造,是一种以层次化生产理念为基础的方法,它通过逐步堆叠和结合材料来完成产品的制作过程^[1]。这种技术始于20世纪末美国的创新发明,之后传播到欧洲,直至21世纪初才进入我国。相较传统的手工制程,3D打印拥有明显的科技优势:首先,其生成速率高且耗时短,由于无需使

用机械工具,而能借助电脑辅助设计的手段迅速构建出零件的三维模型,因此此种方式在新品研发过程中要比常规的制造流程节省数倍的时间;其次,能够处理更高难度的产品组件,无须受到硬件设施的约束。这项技术可以把复杂的三维实物模型转化为二维剖面图形,然后利用相应的设备进行打印制造,这对那些需要内部空间复杂或有多空洞构造的零部

收稿日期:2025-06-09

第一作者简介:王宏坤,1996年出生,主要从事智能制造工艺研究工作。E-mail:731779949@qq.com

件来说非常适用;最后,操作简便且工作环境更加舒适安宁。广泛应用于多种类型的机械设备中并具有很高的使用效率和灵活性;它可以根据实际需求选择合适的替代品以适应不同的功能需要^[2]。通常采用的热熔型物质包括:聚合物,例如橡胶或树脂类产品、石膏或者其他类似的产品等等。这种技术的优势在于能够有效减少制造成本的同时还能实现精确控制产品的质量与性能指标^[3]。由于国内制造业的发展迅速使得这项新兴的技术已经成为当前最有前景的新兴科技领域了^[4]。

熔融沉积快速成型(FDM)技术是目前应用最广泛的3D打印技术之一,PLA、ABS、尼龙等材料都是常用的打印丝材,原理如图1所示,在FDM工艺中,PLA材料具有良好的生物降解性,被广泛使用^[5]。随着3D打印产品应用领域的扩大,人们对其性能的要求日益增高,成型产品性能与材料、工艺之间的关系成了工程技术人员研究的重要课题。

3D打印技术相对于传统的制造过程,具备了快速生产、简洁工艺和短时间制作等优点。随着科技的持续进步,3D打印技术日益完善,该技术已经得到了越来越多的关注和应用。DAWOUD等^[6]的研究表明,他们可以通过调整气隙及光栅方向来增强三维打印部件的机械属性。具体来说,使用负网格间隔与45°的光栅角度可以大大提升密集部件的机械性质。相关的研究结果显示^[7],用FDM技术制作出的样本具有各种特性的强度、刚度、弹性系数、粘附力和收缩率等,并且易受蠕变影响,杨露等^[8]则通过测

试PLA样品进行了相关分析,运用单一因子试验和正交试验的方法确定出了能达到最好的3D打印条件参数,且验证了两者得到的结果是相符的。郑玲等^[9]进一步探究了加工参数如何影响样品的冲击和拉伸性能,最后通过综合评估的方式找寻到最佳的加工参数,从而大幅度地改善了制品的总体机械性能。因此对FDM工艺参数进行优化具有重要意义。

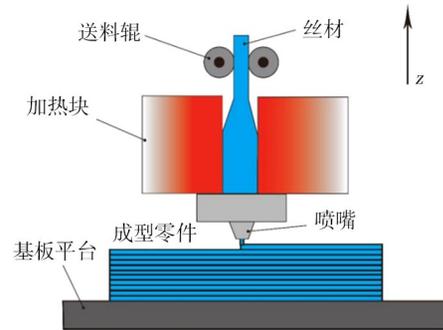


图1 FDM原理图

Fig. 1 FDM schematic diagram

1 实验

1.1 材料及设备

打印材料为聚乳酸(PLA)及PETG-ESD(防静电),聚乳酸具有出色的热稳定性和机械性能,同时在熔融后具有优异的流动性,并且作为一种可降解的新型环保材料,在FDM 3D打印中被广泛应用。目前,PLA已成为FDM增材制造技术中最常用的耗材之一,一般来说,用于FDM 3D打印的PLA丝材的加工温度为195~230℃。PLA和PETG-ESD材料的性能特点详见表1。

表1 不同打印材料性能特点

Tab. 1 Performance characteristics of different printing materials

材料	密度 /g·cm ⁻³	维卡软化 温度/℃	热变形 温度/℃	熔融温 度/℃	熔融指数 /g·(10 min) ⁻¹	抗拉强度 /MPa	断裂伸 长率/%	弯曲模量 /MPa	弯曲强度 /MPa	冲击强度 /kJ·m ⁻²
PLA	1.24	57	57	160	42.4±3.5	35±4	12.2±1.8	2 750±160	76±5	26.6±2.8
PETG	1.24	86	77	-	14	36±1	7.3±0.5	1 658±164	-	-

试验样品的薄片是通过使用IdeaMaker软件制作出来的。首先,需要把用三维建模工具构建出的模型转化为STL格式的数据并将其输入至IdeaMaker软件以执行切割操作。在此之前,要设定打印条件,例如材料填充比例和填充模式等等,这些取决于对工作台精度的特定需求而定。当样本模型被成功切割之后,会产生G-code文件,然后利用对应的G-code来驱动打印设备进行打印。

1.2 试件尺寸精度测试

在FDM 3D打印系统中,打印温度、打印速度和打印层厚度是对最终产品精度有着显著的影响的因素,因此本实验着重探究上述因素对产品精度的

影响。

(1) 打印温度

工作温度是直接加热的模块对喷嘴进行适当热处理时的数值,它对于丝料的黏附力、聚集能力、流速和挤出的丝条宽度有重大影响。合适的打印温度至关重要,因为若其偏低,可能会导致丝料未完全熔化、流动性不足且黏着效果较弱,从而使得丝料挤压速度缓慢,并可能引发产品瑕疵或断裂等问题,进而降低产品的准确度;然而,假如打印温度太高,将会损害聚合物的分子构造,甚至造成丝料烧焦,同样也会削弱产品的准确度。

(2) 打印速度

打印速度是指打印时喷嘴相对于基板的移动速度,打印的速度对产品的成型时间和尺寸精度都有着重要影响。如果打印速度太快,会造成喷嘴抖动过于剧烈,将会对产品的尺寸精度产生严重的影响。

(3) 打印层厚

打印层厚度代表了每一个打印件的厚度,它对于打印时长和挤出丝材宽度有着决定性影响,并且在成型制品尺寸精确性上起到关键作用。

因此本实验分别选取了上述3种重要的打印参数来研究其不同组合下对打印成型制品精度的影响。此次尺寸精度测试采用GB/T 39329—2020作为打印样件标准,该国标规定的试件的基本尺寸如图2、图3所示。



图2 尺寸精度测试样件三维模型

Fig. 2 Three-dimensional model of dimensional accuracy test sample

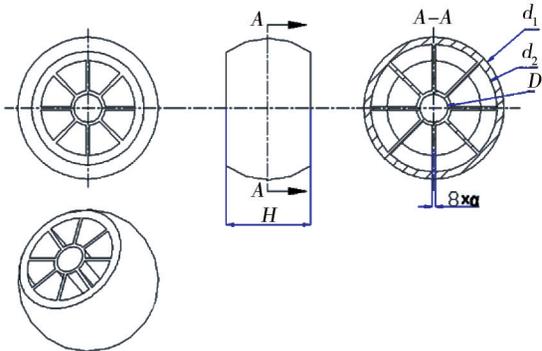


图3 尺寸精度测试样件尺寸图

Fig. 3 Dimension diagram of dimensional accuracy test sample

对于成型较小的设备,将图3试件模型整体按1:2缩小制作;对于成型范围较大的设备,将图3试件模型整体按2:1放大制作,如表2所示。

表2 鼓形试件规格

Tab. 2 Specification of drum specimen mm

特征	球壳外径 d_1	球壳外径 d_2	筋厚 α	孔径 D	孔径 D
1:2	25	22.5	0.6	5	15
1:1	50	45	1.2	10	30
2:1	100	90	2.4	20	60

根据GB/T39329—2020,因为本设备成型范围为正方形,边长为 L ,拟选择的测试件球径为 d ,当 $L/d \geq 7$ 时,选择五个测试件三排摆放,分别放置于设备成型平台的对称中心处1个,4个角各一个。设备中 $L=400\text{ mm}$, $d=50\text{ mm}$,满足 $L/d \geq 7$,即选择该排布方式,如图4所示。在该排布方式下,选择1:1试件模型最为合适。

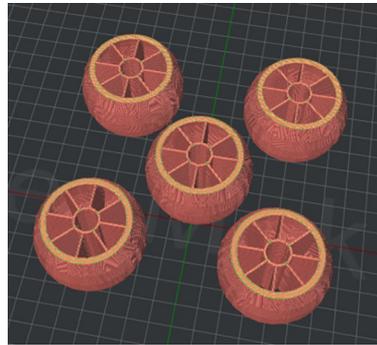


图4 打印样件分布

Fig. 4 Print sample distribution

1.2.1 正交试验设计基本原理

相较于单一变量测试,多元化测试涉及更多可能影响结果的元素,这使得设计的复杂性和数据分析变得更加棘手。然而,许多实践中的问题要求我们必须考虑两个或多个相互关联的影响因素。若要完全涵盖所有情况并执行全部实验,则所需的试剂数量将会呈指数级增长,导致实验规模过大且无法实施。而正交试验设计的关键在于用少量的样本替代全局观察,使用标准的正交表格来规划和安排实验,这种方式能保证分布均衡且有序排列,从而从中挑选出最具代表性的几个点作为实例,然后根据这些案例的数据得出最佳解决方案。因此,正交试验设计是高效且迅速探索多种因素及其不同层次的技术优化实验的重要工具。

1.2.2 极差分析法

极差分析法是一种直接且视觉化的工具,能够以简便的方式解决问题并识别主要与次要的影响因素。此种方法可用于评估实验变量的重要性及最佳状态,并在科学研究和实践操作中有普遍的使用价值。以下是极差分析法的公式表述:

$$R_j = \max(\overline{K}_{j1}, \overline{K}_{j2}, \dots, \overline{K}_{jm}) - \min(\overline{K}_{j1}, \overline{K}_{j2}, \dots, \overline{K}_{jm}) \dots$$

式中, R_j 为第 j 列因素的极差, \overline{K}_{jm} 为第 j 列因素 m 水平所对应的试验指标的平均值。 R_j 反映了测试指标随 j 列因素水平的变化程度, R_j 越大,表明该因素对测试指标的影响越重要。在这个实验中,使用的是一种名为“R法”的方法,它主要是基于各列因素的极大与极小的平均差异来进行数据分析。这种方法能够有效地确定主导因素及其相应的优化参数设置。具体来说,这个过程包括计算每个因素的平均偏差,也就

是其最高和最低数值之间的差距。这些偏差反映出不同因素对于结果的影响力大小,并可据此判断哪些因素更具关键性和优先级。

鼓形标准试件进行打印尺寸的测试,按照表3的正交试验表,采用单一因素变量法,每种组合各打印5个,尺寸偏差 $\leq 0.5\%$,则尺寸精度符合要求。打印的鼓形试件如图5所示。

表3 PLA及PETG-ESD鼓形试件三因素三水平正交试验
Tab. 3 Three-factor and three-level orthogonal test table of PLA and PETG-ESD drum-shaped specimens

水平	打印速度/mm·s ⁻¹	打印温度/°C	打印层厚/mm	数量
1	70	200	0.15	5
2	70	210	0.20	5
3	70	220	0.25	5
4	80	200	0.20	5
5	80	210	0.25	5
6	80	220	0.15	5
7	90	200	0.25	5
8	90	210	0.15	5
9	90	220	0.20	5



图5 鼓形试件

Fig. 5 Drum-shaped test sample

1.3 试件拉伸性能测试

采用GB/T 1040.2—2022作为打印样件标准。该国标准规定的试件尺寸如图6所示,三维模型见图7。依据国标确定 $l_3=170\text{ mm}$, $l_2=110\text{ mm}$, $l_1=80\text{ mm}$, $r=25\text{ mm}$, $b_2=20\text{ mm}$, $b_1=10\text{ mm}$, $h=4\text{ mm}$ 。

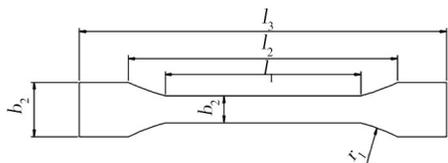


图6 试件几何形状尺寸

Fig. 6 Geometric shape and size diagram of the specimen



图7 三维模型

Fig. 7 Three-dimensional model diagram

在模型力学性能方面,主要是模型壁厚、填充率及填充方式对模型性能影响最大,因此选择此三项参数进行研究。

(1) 模型壁厚

模型壁厚是指打印物体的外壁厚度,一般3D打印时,都会有一个最小壁厚。一旦小于这个壁厚,3D打印时很容易发生坍塌的情况。由于壁厚部分的丝材填充不随填充率的变化而变化,所以采用0.6、0.8、1.0 mm的模型壁厚打印试件进行力学性能测试分析。

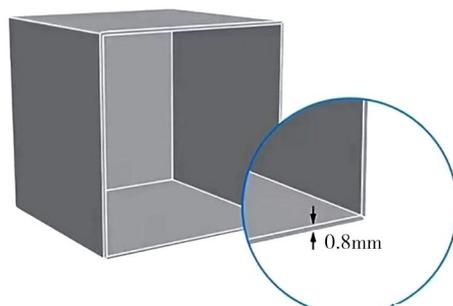
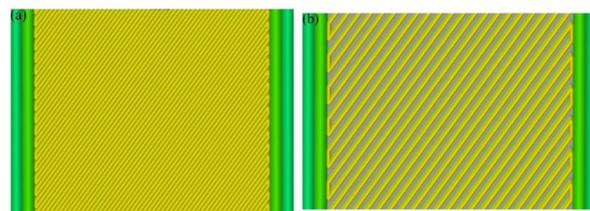


图8 模型壁厚示意图

Fig. 8 Model thickness diagram

(2) 填充率

填充率代表了丝线间的填充紧实程度,其值越高则表示丝线的间距越小,相反地,数值较低则意味着间距越大。若填充率达至100%,那么填充区域就变成了完全填实的实体状态,而丝线和丝线之间的空间也变为了零,例如图9(a)展示的情况。如果填充率是50%,那么填充区就是由一半的填充物丝线和另一半的空间组成,比如图9(b)中的黄色部分代表的是填充物的丝线,而灰色部分则是指丝线之间的空白处,这些空白处的宽度等于填充物的宽度。因此,填充率对3D打印成品的密度有重要影响,它决定了成品中丝线和丝线之间的紧密程度,从而影响到成品的密度大小。



(a) 100% 填充率

(b) 50% 填充率

图9 填充率示意图

Fig. 9 Fill rate schematic diagram

(3) 填充方式

打印过程中可设置不同路径的材料填充方式,常见的填充方式有直线型、网格型、立方体型、蜂窝

型等,如图10所示,不同的填充方式会直接影响到工装的强度。选取合适的填充方式不仅可以使使用较少的材料而达到较高的强度,而且能够提高打印速度,减轻工装质量。

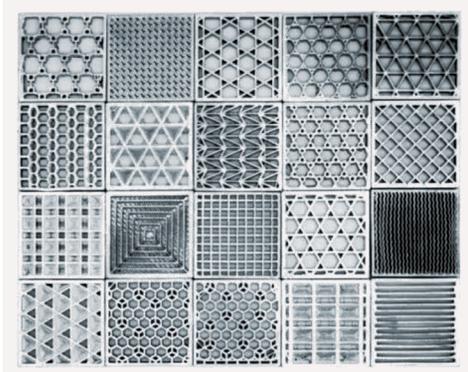


图10 不同填充方式示意图

Fig. 10 Illustration of Different Filling Methods

采用螺旋24面体、蜂窝状、网格状三种填充方式打印标准样件。打印的力学实验样件如图11所示。

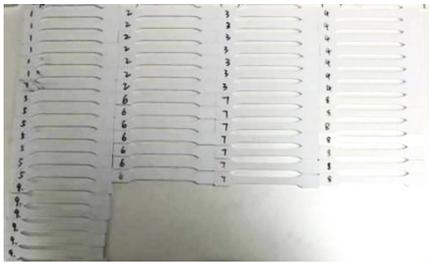


图11 力学实验样件

Fig. 11 Mechanical experiment sample piece

1.4 试件压缩性能测试

根据GB/T1041—2008打印试样进行压缩试验,下压速度为1 mm/min。试样形状选择为圆柱,圆柱直径 x 为6 mm,平行于压缩力轴试样厚度 l 为10 mm, $x/l=0.6$ 进行压缩试验。



图12 压缩样件三维模型

Fig. 12 Compressed three-dimensional model of the sample part

2 试验情况和结果分析

2.1 项目结果与分析

大多数FDM 3D打印机使用的是STL格式作为其工作文件。这种格式的特点在于通过简单地以线

条和点的方式构建出由多个三角形组成的几何形状,以此模拟更复杂的CAD设计,如图13所示。然而,这也会导致最终制造出的零部件与其原始CAD设计的尺寸存在差异。

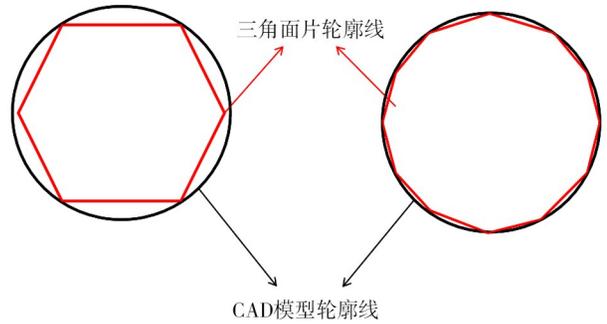


图13 STL文件对尺寸精度的影响

Fig. 13 The influence of STL files on dimensional accuracy

由图13可以看出,在同一模型中,STL文件中的三角形曲面个数越多,与实际形状逼近程度越相似,尺寸误差越小。即便再精确的三角面片模型,与圆形尺寸也有一定误差。试验中鼓形样件STL文件如图14所示,CAD模型外径理论值为50 mm,STL模型外径理论值为49.6 mm,因此尺寸精度按照STL模型外径理论值为49.6 mm来计算。



图14 鼓形试样STL文件划分

Fig. 14 Division of the STL file for the drum-shaped specimen

2.2 样件尺寸精度

鼓形试件的外径尺寸精度作为研究内容,根据标准正交表中所列出的参数进行试件的打印,将打印好的试件用数显卡尺(0~150/0.01 mm)逐一对试件的外径进行测量。在打印和测量过程中,为避免随机误差的干扰,分别把每一组打5个试件,将测得的5组数值最终取其平均值,材料PLA鼓形试件与PETG-ESD鼓形试件的测量值如表4所示。

由式(1)计算出各试件外径尺寸误差,如表5所示。

$$\Delta y = \frac{y_l - y_c}{y_l} \quad (1)$$

式中, y_l 为鼓形试件的理论尺寸, y_c 为鼓形试件的实际测量尺寸平均值。

表4 试验测量数据值(PLA)、(PETG-ESD)
Tab. 4 Test measurement data values (PLA), (PETG-ESD)

实验序号	PLA测量均值/mm	PETG-ESD测量均值/mm
1	49.606	49.632
2	49.628	49.666
3	49.654	49.676
4	49.632	49.674
5	49.656	49.700
6	49.620	49.654
7	49.628	49.674
8	49.608	49.642
9	49.604	49.656

通过对表4中的数据进行计算可得到PLA鼓形

表5 三因素三水平正交试验结果(PLA)、(PETG-ESD)

Tab. 5 The results of the orthogonal experiment with three factors and three levels(PLA), (PETG-ESD)

实验序号	因素			实验结果(PLA)	实验结果(PETG-ESD)
	(A)打印速度 /mm·s ⁻¹	(B)打印温度 /°C	(C)打印层厚 /mm	外径尺寸误差 ΔD/%	外径尺寸误差 ΔD/%
1	70	200	0.15	-0.012	-0.064
2	70	210	0.20	-0.056	-0.133
3	70	220	0.25	-0.108	-0.153
4	80	200	0.20	-0.064	-0.149
5	80	210	0.25	-0.112	-0.202
6	80	220	0.15	-0.040	-0.109
7	90	200	0.25	-0.056	-0.149
8	90	210	0.15	-0.016	-0.085
9	90	220	0.20	-0.008	-0.123
PLA	\bar{D}_1	-0.058 7	-0.044 0	-0.022 7	
	\bar{D}_2	-0.072 0	-0.061 3	-0.042 7	
	\bar{D}_3	-0.026 7	-0.052 0	-0.092 0	
	R_D	0.045 3	0.017 3	0.069 3	
PETG-ESD	\bar{D}_1	-0.117	-0.121	-0.086	
	\bar{D}_2	-0.153	-0.140	-0.135	
	\bar{D}_3	-0.119	-0.128	-0.168	

2.3 力学性能结果

当所有样本打印完毕之后,进行了力学性能测验。物理性能测验是在航天科工防御技术研究试验中心微机控制电子万能试验机(CMT4104)上完成的。每个加工条件下的每一个样本都被制作并测量了7次,随后剔除了不符合要求的检验结果,以计算出每项物理特性均值。

2.3.1 填充方式对力学性能的影响

在填充率为20%、模型壁厚为0.6 mm,仅填充方式变化的条件下,由图15力学性能结果可知,当选择螺旋宇航材料工艺 <http://www.yhclgy.com> 2025年 增刊1

试件的外径平均尺寸误差为-0.052%;PETG-ESD鼓形试件的外径平均尺寸误差为-0.13%,发现两种材料外径尺寸的平均极差均为 R_D 层厚 $>R_D$ 速度 $>R_D$ 温度,即 $C>A>B$,说明在打印制件水平方向尺寸精度上,打印层厚对精度影响最大,其次是打印速度,打印温度对制件的精度影响最小。

另外,由于 $\bar{D}_{3速度} > \bar{D}_{1温度} > \bar{D}_{2速度}$,所以80 mm/s为最优打印速度;同理,210 °C为最优打印温度,0.25 mm为最优打印层厚。经过正交试验和尺寸精度验证,最后得到的结果:打印速度为80 mm/s、打印温度为210 °C、打印厚度为0.25 mm,此组合尺寸误差是最小的。在后续力学实验中,将保持选择上述参数进行试验。

24面体为填充方式时,该方式拉伸强度和断裂力均最低,拉伸强度仅为27.6 MPa,断裂力为938 N;当选择蜂窝状为填充方式时,该方式拉伸强度和断裂力均为最高,此时试件的拉伸强度为28.7 MPa,断裂力为1 156 N;当选择网格状为填充方式时,此时试件的拉伸强度为28.3 MPa,断裂力为1 116 N。由此实验数据可以得出螺旋24面体、蜂窝状、网格状三种填充方式,在其他变量相同的情况下,蜂窝状填充方式样件拉伸强度及断裂力均是最大的,即蜂窝状在三种填充方式中最为可靠,因此在打印时,优先选择蜂窝状的填充方式。

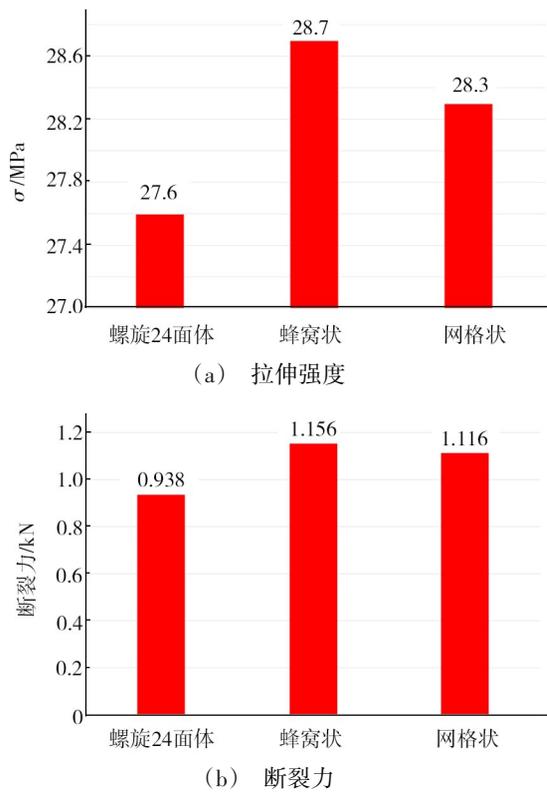


图 15 不同填充方式下试件力学性能变化
Fig. 15 Mechanical property changes of specimens under different filling methods

2.3.2 填充率对力学性能的影响

选取 20%、40%、60% 的填充率打印试件, 并进行

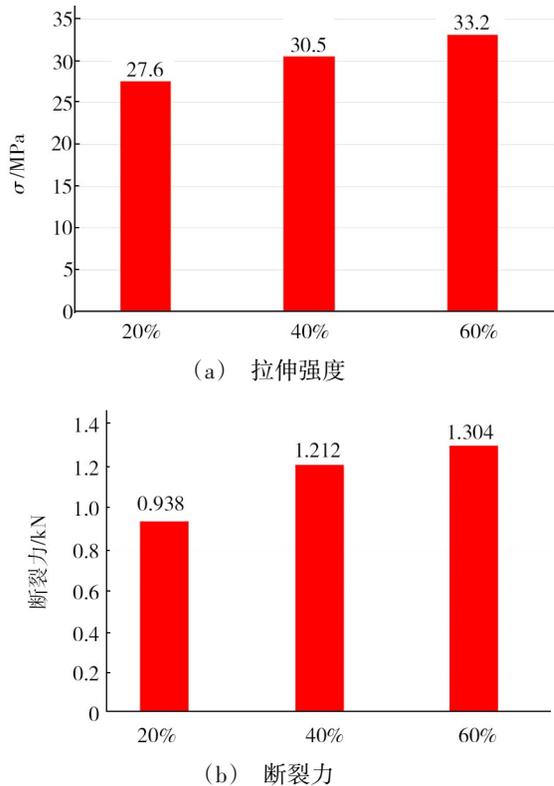


图 16 不同填充率下试件力学性能变化
Fig. 16 Changes in mechanical properties of specimens under different filling rates

拉伸实验测试, 同时保证填充方式均为螺旋 24 面体, 模型壁厚为 0.6 mm。实验结果如图 16 所示, 可以看出, 随着填充率的逐渐增加, 打印时间会增加, 但打印件的拉伸强度和断裂力也有着明显提高。

由图 16 看出, 试件填充率为 20% 时的拉伸强度和断裂力分别为 27.6 MPa 和 938 N; 当填充率增大到为 40% 时的拉伸强度和断裂力分别为 30.5 MPa 和 1 212 N; 当试件的填充率继续增大到为 60% 时, 拉伸强度为 33.2 MPa, 断裂力为 1 304 N。由此实验数据可以得出随着填充率的增加, 试件的极限拉伸强度和断裂力都有明显的提高, 这是由于填充率的提高导致试样内部丝材更致密造成的。

2.3.3 模型壁厚对力学性能的影响

采用 0.6、0.8、1.0 mm 的模型壁厚打印试件进行拉伸实验测试, 同时保证填充方式均为螺旋 24 面体, 填充率 20%。

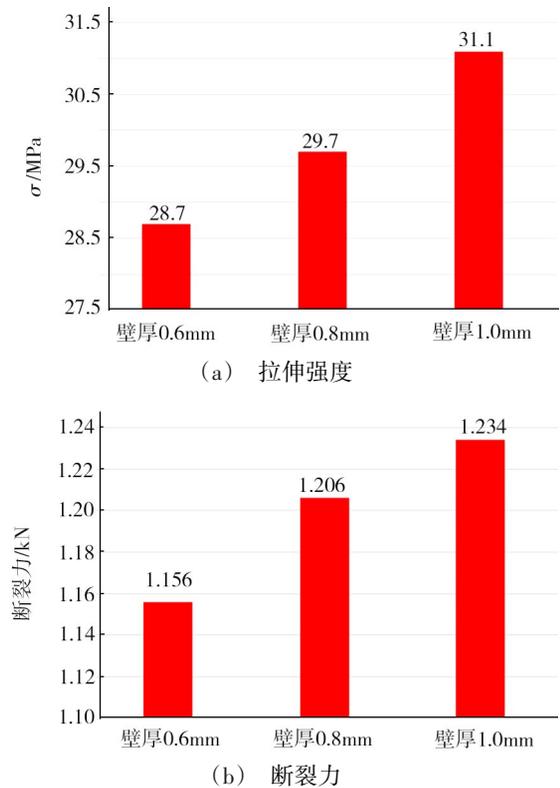
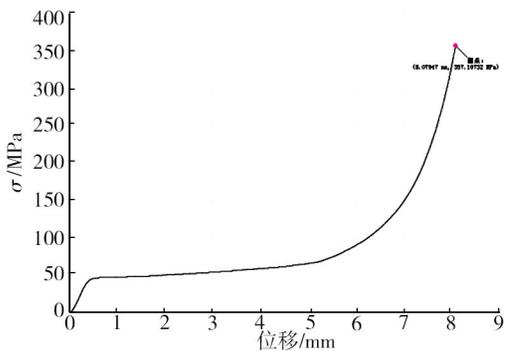


图 17 不同模型壁厚下试件力学性能变化
Fig. 17 The changes in mechanical properties of specimens under different model wall thicknesses

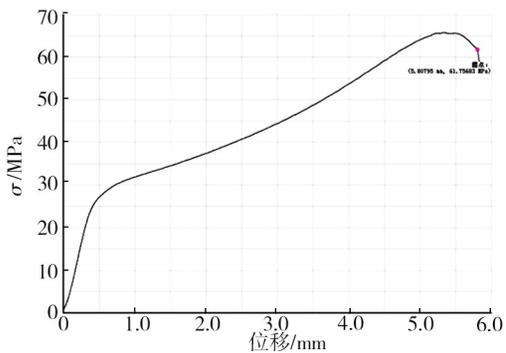
由图 17 可以看出, 当试件壁厚为 0.6 mm 时, 拉伸强度仅为 28.7 MPa, 断裂力仅为 1 156 N; 当试件壁厚为 0.8 mm 时, 试件的拉伸强度 29.7 MPa, 断裂力为 1 206 N; 当试件的壁厚增大到为 1.0 mm 时, 拉伸强度为 31.1 Pa, 断裂力为 1 234 N。由此实验数据可以得出随着模型壁厚的增加, 试件的极限拉伸强度和断裂力都有明显的提高。

2.3.4 压缩性能结果分析

采用PLA及PETG-ESD材料进行压缩实验,材料属性设置均为壁厚0.6 mm、填充为螺旋24面体、填充率20%。应力位移曲线如图18所示。图18(a)中,因压缩过程中PLA无破损情况,故应力呈现一直增大的现象,其中曲线较平滑部分为其最大压缩应力,在位移5 mm处为50 MPa左右;PETG-ESD最大应力出现在5.81 mm处,为61.76 MPa。综上,PLA材料压缩过程中最大应力应视为5 mm处50 MPa左右,超过5 mm其应力变化无参考意义;同时PETG-ESD材料压缩过程中最大应力也出现在5 mm处左右,PETG-ESD材料的最大应力比PLA的要大,因此PETG-ESD材料抗压性能比PLA更优。



(a) PLA 应力位移曲线



(b) PETG-ESD 应力位移曲线

图18 应力位移曲线

Fig. 18 Compressed experimental stress-displacement curves

3 结论

由正交试验和尺寸精度验证最后得到的结果:打印速度为80 mm/s、打印温度为210 °C、打印厚度为0.25 mm,此组合尺寸误差是最小的,即最优组合。

(1)在最优组合下,拉伸实验就PLA对填充方式、填充率、模型壁厚这三种打印参数进行了实验和分析。结果表明,蜂窝状填充方式在三者中拉伸强度及断裂力均为最高;当填充率增加时,试件的拉伸

强度和弹性模量都有显著的提高;当模型壁厚增加时,试件的拉伸强度和弹性模量均有所提高。填充率的增加明显提高试件的拉伸强度。

(2)在压缩试验中,PETG-ESD材料比PLA强度要大。

在实际生产中,使用者需根据产品特点及实际需要,选择合适的参数。

参考文献

[1] 钟伟华. 3D打印参数对PLA力学性能和成形质量的影响研究[D]. 吉林大学,2019.

ZHONG W H. Study on the influence of 3D printing parameters on the mechanical properties and molding quality of PLA. [D]. Jilin University, 2019.

[2] 汪孟前. 面向3D打印技术的转向节优化设计研究[D]. 哈尔滨工业大学,2021.

WANG M Q. Research on optimization design of steering knuckle oriented to 3D printer technology [D]. Harbin Institute of Technology, 2021.

[3] 王康,黄筱调,袁鸿. 3D打印技术最新进展[J]. 机械设计与制造工程,2015,44(10):1-6.

WANG K, HUANG Y D, YUAN H. The latest development of 3D printing technology [J]. Machine Design and Manufacturing Engineering 2015, 44(10): 1-6.

[4] 刘新宇,张乔石,赵凌锋,等. 3D打印精度影响及翘曲成因的分析与优化[J]. 科技创业月刊,2016,29(11):114-115.

LIU X Y, ZHANG Q S, ZHAO L F, et al. Analysis and optimization of 3D printing accuracy influence and warping cause [J]. Pioneering with Science & Technology Monthly, 2016, 29(11): 114-115.

[5] 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.

[6] DAWOUD M, TAHA I, EBEID S J. Mechanical behaviour of ABS: An experimental study using FDM and injection moulding techniques [J]. Journal of Manufacturing Processes, 2016, 21: 39-45.

[7] MOUSER V H M, LEVATO R, BONASSAR L J, et al. Three-dimensional bioprinting and its potential in the field of articular cartilage regeneration [J]. Cartilage, 2017, 8(4): 327-340.

[8] 杨露,孟家光,薛涛. 3D打印工艺参数对PLA试件拉伸强度的影响[J]. 塑料工业, 2021, 49(5): 73-77, 142.

YANG L, MENG J G, XUE T. Effects of 3D printing parameters on tensile properties of PLA [J]. China Plastics Industry, 2021, 49(5): 73-77, 142.

[9] 郑玲,邓鑫,焦晓岚,等. 基于正交试验优化PLA的3D打印工艺参数[J]. 工程塑料应用, 2021, 49(10): 68-72, 80.

ZHENG L, DENG X, JIAO X L, et al. Optimization of 3D printing process parameters for PLA based on orthogonal experiment [J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(10): 68-72, 80.