

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2023.06.010

# 熔融沉积3D打印立体印花在服装中的应用

王琛,张晨贇,夏凌然,丁可青

(南京林业大学家居与工业设计学院,南京 210037)

**摘要:** 为了在织物表面打印出具有三维装饰效果的立体印花模型,让服装更显个性、有趣和创新,首先对3D打印丝与织物界面的黏合过程、机理和条件进行分析。然后选用热塑性聚氨酯(TPU)为3D打印丝材、涤纶[聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)]为织物基材,制备B型剥离试样,通过万能力学试验机进行T型剥离试验,探究成型参数对TPU-PET织物界面黏合性能的影响。最后设计立体印花三维模型,结合剥离试验得到的优选成型参数,使用熔融沉积成型工艺完成了立体印花的3D打印制作实践。结果表明,0.05~0.15 mm范围内,初始高度越小,TPU-PET织物界面的平均剥离强度越大;10~50 mm/s范围内,打印速度越小,TPU-PET织物界面的平均剥离强度越大;195~235 °C范围内,挤出温度越大,TPU-PET织物界面的平均剥离强度越大;优选成型参数为初始高度0.05 mm、打印速度10 mm/s、首层挤出温度235 °C、其余层挤出温度215 °C;应用SolidWorks软件设计“鱼鳞印花”三维模型,其使用优选成型参数打印制作,此3D打印“鱼鳞印花”与织物表面黏合性能好、尺寸精度高、三维装饰效果好,为服装印花的多元化发展提供了参考。

**关键词:** 熔融沉积成型;3D打印;立体印花;服装定制

**中图分类号:** TS941.15    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1001-3539(2023)06-0062-06

## Application of FDM 3D Printing Stereoscopic Stamp in Clothing

Wang Chen, Zhang Chenyun, Xia Lingran, Ding Keqing

(College of Home and Industrial, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

**Abstract :** In order to print a stereoscopic stamp with a three-dimensional decorative effect on the surface of the fabric for making the clothing more personalized, interesting and innovative, firstly, the bonding process, mechanism, and conditions between 3D printed silk and fabric interface were analyzed. Then, selecting thermoplastic polyurethane (TPU) as the 3D printing silk material and polyester (PET) as the fabric substrate, and B-type peel specimens was made. A T-shaped peel test using a universal mechanical testing machine was conducted to investigate the influence of molding parameters on the interfacial adhesion performance of TPU-PET fabric. Finally, the 3D model design of stereoscopic stamp was carried out, combined with the optimal forming parameters obtained from peeling experiments, and the 3D printing production practice of stereoscopic stamp was completed using fused deposition modeling (FDM) technology. The results show that within the range of 0.05–0.15 mm, the smaller the initial height is, the greater the average peel strength of the TPU-PET fabric interface is. Within the range of 10–50 mm/s, the smaller the printing speed is, the greater the average peel strength of the TPU-PET fabric interface is. Within the range of 195–235 °C, the higher the extrusion temperature is, the greater the average peel strength of the TPU-PET fabric interface is. The optimal molding parameters are that initial height is 0.05 mm, printing speed is 10 mm/s, extrusion temperature of the first layer is 235 °C, extrusion temperature of the remaining layers is 215 °C. Using SolidWorks software to design a three-dimensional model of "fish scale stamp", and using optimal molding parameters to print the actual stamp, this 3D printing "fish scale stamp" has good adhesion performance with the surface of the fabric, high dimensional accuracy, and good three-dimensional decoration effect, providing reference for the diversified development of clothing stamp.

**Keywords :** fused deposition modeling ; 3D printing ; stereoscopic stamp ; clothing customization

**基金项目:** 江苏省高校品牌专业建设工程项目(PPZY2015B150)

**通信作者:** 王琛,实验师,主要从事3D打印技术应用、家居产品设计等研究开发工作

**收稿日期:** 2023-03-24

**引用格式:** 王琛,张晨贇,夏凌然,等.熔融沉积3D打印立体印花在服装中的应用[J].工程塑料应用,2023,51(6):62–67.

Wang Chen, Zhang Chenyun, Xia Lingran, et al. Application of FDM 3D printing stereoscopic stamp in clothing[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(6): 62–67.

随着3D打印技术的普及和柔性丝材的开发,服装领域正积极探索3D打印技术的应用和新产品的研发。近年来,许多文献对3D打印技术在服装领域的应用进行了研究。王雨凡等<sup>[1]</sup>阐述了3D打印和针织服装设计概念、原理,从服装、配饰、面料3个方面对3D打印技术在针织服装设计中的应用方法进行了分析,用可拆卸式连接完成了系列创新设计,展现了3D打印的美学特点。杨蕾等<sup>[2]</sup>介绍了3D打印服装的成型材料及打印技术,通过具体实例分析了3D打印在智能服装、内衣和时装中的应用,对3D打印服装的应用优势和发展前景进行了总结。杨露等<sup>[3]</sup>对柔性聚乳酸3D打印材料熔融喷丝前后的分子结构、表面形貌、热性能和结晶度进行了测试分析,使用3D Max软件和熔融沉积工艺开发出了性能良好的3D打印柔性服装面料。相关研究表明,3D打印技术在服装领域的应用,突破了传统服装生产过程中织物结构和工艺问题的限制,大多复杂的形状和结构都可以直接打印出来,使服装款式更加丰富、造型更加别致,特别适合于个性化、定制类服装的设计开发<sup>[4]</sup>。

熔融沉积3D打印立体印花将平面印花在空间上进行拓展,创造出独特的三维装饰效果<sup>[5]</sup>。其在服装中的应用,是将个性化的设计理念辅以先进成型技术运用到服装领域,使得印花的设计和生流程更加精简,让服装设计更具时尚性、艺术性和个性化的特点<sup>[6]</sup>。笔者对3D打印丝与织物界面的黏合过程、机理和条件进行了分析。选用热塑性聚氨酯(TPU)为3D打印丝材、涤纶[聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)]为织物基材,通过剥离试验探究了成型参数对TPU-PET织物界面黏合性能的影响。应用Solid-Works软件进行了立体印花的三维模型设计,结合剥离试验得到了优选成型参数组合,使用熔融沉积工艺完成了立体印花的3D打印制作实践。熔融沉积3D打印立体印花在服装中的应用,让服装更显个性、有趣和创新,为服装印花的多元化发展提供了参考。

### 1 3D打印丝与织物界面黏合作用分析

#### 1.1 3D打印丝与织物界面黏合过程与机理

熔融沉积3D打印立体印花制作的关键是3D打印丝与织物界面的黏合作用,3D打印丝与织物界面的黏合过程是复杂的物理、化学变化过程。主要分为3个阶段:(1)熔融阶段,3D打印丝受热熔融为具

有流动性的黏流体,由挤出头挤出并附着于织物表面;(2)黏合阶段,在高温和竖向挤压力的作用下,织物表面附着的黏流态3D打印丝接触、浸润并扩散到织物内部与织物产生黏合;(3)固着阶段,随着材料的冷却和竖向挤压力的减小,3D打印丝逐渐凝结并固着于织物表面。

3D打印丝与织物界面的黏合形式分为机械嵌入式和分子作用式,两者的黏合机理如下:前者由于织物中的纤维间存在孔隙,导致其表面粗糙不平,黏流态的3D打印丝在重力作用下逐步渗透到纤维间的孔隙中(如图1所示),镶嵌并固着在织物表面,由此形成了机械嵌入式黏合;后者是在高温和竖向挤压力的作用下,黏合界面上的3D打印丝、织物纤维的分子链段间相互接触、浸润与交联(如图2所示),产生了包括氢键、化学键和范德华力等分子间作用力,由此形成了分子作用式黏合。

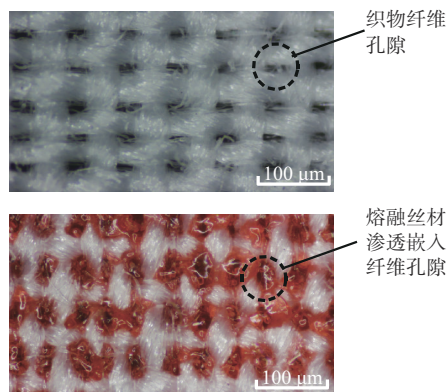


图1 机械嵌入式黏合

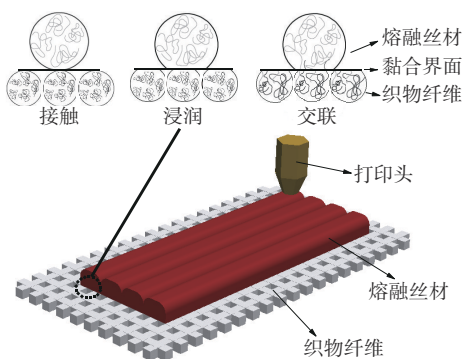


图2 分子作用式黏合

#### 1.2 3D打印丝与织物界面黏合条件

3D打印丝与织物界面产生黏合作用需要具备以下条件:(1)3D打印丝与织物的极性相似、溶解度参数接近,由于3D打印丝和织物纤维均属于聚合物,在高温和竖向挤压力的作用下,两种聚合物间的分子链段相互扩散,此过程可视为聚合物相溶的

过程,根据相似相溶原理,聚合物间极性相似、溶解度参数越接近,相溶体系的热焓变化值越小,聚合物间的相互溶解性越好,界面黏合性能越好;(2) 3D打印丝的表面张力与织物基材的表面张力接近,且具有较好的流动性。由于织物的表面属于低能表面,其张力较低。为了确保3D打印丝在织物表面形成有效的铺展,熔融丝材应具有较低的表面张力。此外,由于熔融丝材从黏流温度冷却至玻璃化转变温度的时间较短,为了加快聚合物间浸润和渗透的速度,3D打印丝应具有较好的流动性,流动性越好,界面黏合性能越好。

### 1.3 TPU-PET 织物界面黏合性能

TPU作为应用最多的熔融沉积3D打印柔性耗材之一,具有较好的弹性、韧性和易加工性<sup>[7]</sup>。涤纶(PET)织物多由超细纤维或改性涤纶(短纤或长丝)构成,不仅柔软,还具有凉爽舒适、抗折皱、易洗快干、价格便宜等特点<sup>[8]</sup>。根据上文对3D打印丝与织物界面黏合过程、机理和条件的分析,选用TPU丝材和涤纶(PET)织物进行黏合性能试验与立体印花的3D打印制作实践,基于以下原因:(1) TPU分子为强极性,溶解度参数为 $10.0 (\text{cal}/\text{cm}^3)^{1/2}$ ,PET分子为极性、溶解度参数为 $10.7 (\text{cal}/\text{cm}^3)^{1/2}$ ,两种聚合物极性相似、溶解度参数接近,聚合物间的相互溶解性较好,界面黏合性能较好;(2) 涤纶织物的表面张力为 $43.0 \times 10^{-3} \text{ N/m}$ ,黏流态TPU丝材的表面张力为 $34.8 \times 10^{-3} \sim 39.3 \times 10^{-3} \text{ N/m}$ ,黏流态TPU丝材的表面张力略低于涤纶织物的表面张力。因此,黏流态TPU丝材可以在涤纶织物表面形成有效的铺展和流动,TPU-PET织物界面具有较好的黏合性能。

## 2 实验部分

### 2.1 主要原料

涤纶(PET)织物:平纹,低弹丝,纱线细度75 D,泰州姜堰天顺布业有限公司;

3D打印丝:TPU柔性丝材,邵氏硬度90,东莞以祥材料科技有限公司。

### 2.2 主要仪器及设备

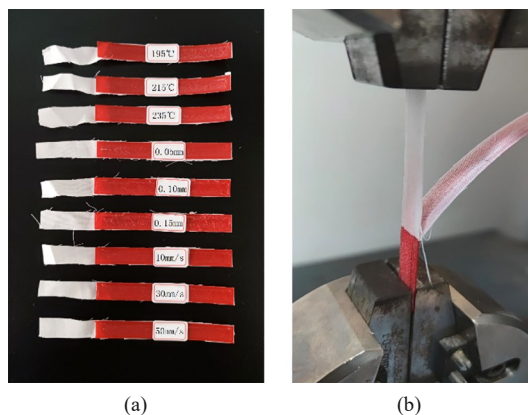
3D打印机:哈辰P-00型熔融沉积3D打印机,南京双庚电子科技有限公司;

万能力学试验机:AG-X型(20 kN),日本岛津株式会社。

### 2.3 试样制备

为测试成型参数对TPU-PET织物界面黏合性

能的影响,探究TPU-PET织物界面的优选成型参数。参考GB/T 8808-1988,选择B型剥离试样进行试验,试样尺寸为长度200 mm、宽度30 mm、厚度2 mm。通过SolidWorks软件进行剥离试样的三维模型设计,选择TPU柔性丝材,应用熔融沉积3D打印工艺制备试样。制备试样前,先将涤纶织物用燕尾夹固定在成型平台上,使得挤出头挤出的熔融丝材直接沉积在涤纶织物表面,3D打印剥离试样实物如图3a所示。



a—B型剥离试样; b—剥离试验过程

图3 3D打印剥离试样实物及剥离试验过程

### 2.4 性能测试

参考GB/T 8808-1988中规定的剥离试验方法,采用万能力学试验机对B型剥离试样进行剥离性能测试(剥离试验过程如图3b所示)。首先,沿试样长度方向于楔口处将黏合层预先手动剥开50 mm,被剥开部分不得有明显损伤,万能力学试验机的剥离速度设置为200 mm/min。将试样剥开部分的两端分别装夹在万能力学试验机的上、下夹具上,使试样剥开部分的纵轴与上、下夹具的中心连线重合,并松紧适宜。试验时,未剥开部分与拉伸方向呈T型。

## 3 结果与讨论

### 3.1 初始高度对TPU-PET织物界面黏合性能的影响

初始高度为打印首层黏合结构时,挤出头距离成型平台的高度。设置打印层高0.2 mm、填充密度100%、挤出温度215 °C、打印速度10 mm/s,对不同初始高度(0.05, 0.10, 0.15 mm)下的TPU-PET织物界面黏合性能进行测试,测试结果如图4所示。从图4可得,0.05, 0.10, 0.15 mm初始高度下TPU-PET织物界面的平均剥离力分别为23.34, 14.62, 7.81 N, 平均剥离强度分别为0.78, 0.49, 0.26 N/mm。随着初始高度的减小,TPU-PET织物界面的平均剥离强

度增大。这是因为在打印首层黏合结构时,初始高度越小,挤出头与成型平台的间隙越小,挤出量不变的前提下,黏流态TPU丝材在竖向(Z轴方向)上挤压力越大,竖向挤压力驱使黏流态TPU丝材进一步渗透到PET纤维孔隙中,使得PET纤维孔隙中嵌入的TPU丝材增加,TPU-PET织物的界面黏合性能增强<sup>[9]</sup>。综上分析,TPU-PET织物界面优选初始高度为0.05 mm。

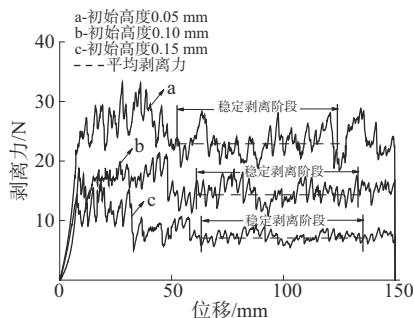


图4 不同初始高度的剥离力-位移曲线

### 3.2 打印速度对TPU-PET织物界面黏合性能的影响

打印速度为挤出头在横向(水平方向)的移动速度。设置打印层高0.2 mm、填充密度100%、挤出温度215℃、初始高度0.05 mm,对不同打印速度(10, 30, 50 mm/s)下的TPU-PET织物界面黏合性能进行测试,测试结果如图5所示。从图5可得,10, 30, 50 mm/s打印速度下TPU-PET织物界面的平均剥离力分别为23.34, 14.28, 7.22 N,平均剥离强度分别为0.78, 0.47, 0.24 N/mm。随着打印速度的减小,TPU-PET织物界面的平均剥离强度增大。这是因为在实际打印过程中,随着打印速度的减小,黏流态TPU丝材在织物表面的流动时间增加,铺展更加充分,渗透面积更大<sup>[10]</sup>。同时,随着打印速度的减小,黏流态TPU丝材与PET织物纤维间的接触时间变长,TPU-PET分子间的扩散与浸润更加充分,有更多的分子链段产生交联,TPU-PET织物的界面黏合性能增强。综上分析,TPU-PET织物界面优选打印速度

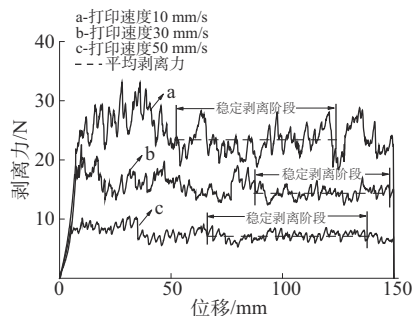


图5 不同打印速度的剥离力-位移曲线

为10 mm/s。

### 3.3 挤出温度对TPU-PET织物界面黏合性能的影响

挤出温度为挤出头融化3D打印丝的温度。设置打印层高0.2 mm、填充密度100%、初始高度0.05 mm、打印速度10 mm/s,对不同挤出温度(195, 215, 235℃)下的TPU-PET织物界面黏合性能进行测试,测试结果如图6所示。从图6可得,195, 215, 235℃挤出温度下TPU-PET织物界面的平均剥离力分别为8.72, 23.34, 41.15 N,平均剥离强度分别为0.29, 0.78, 1.37 N/mm。随着挤出温度的增大,TPU-PET织物界面的平均剥离强度增大。这是因为随着挤出温度的增大,黏流态TPU丝材从黏流温度冷却至玻璃化转变温度的时间变长,TPU丝材在重力作用下渗透到PET纤维孔隙中的量增加,机械嵌入式黏合更加充分<sup>[11]</sup>。此外,随着挤出温度的增大,TPU丝材的分子链段在黏合界面的扩散与浸润速度加快,有更多的分子链段产生交联,形成了更多的化学键、范德华力等分子间作用力,TPU-PET织物的界面黏合性能增强<sup>[12]</sup>。综上分析,TPU-PET织物界面优选挤出温度为235℃。

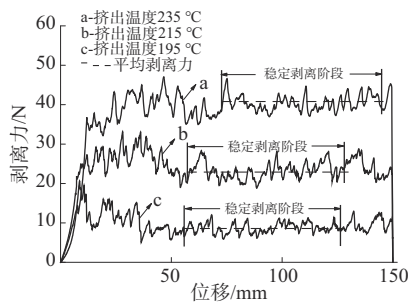


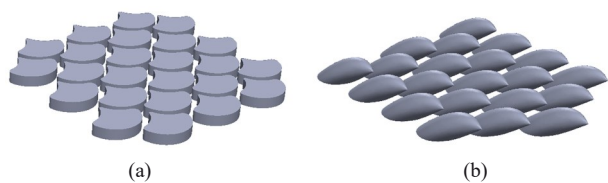
图6 不同挤出温度的剥离力-位移曲线

## 4 3D打印立体印花设计与制作实践

### 4.1 立体印花三维模型设计

不同于传统丝网印花和数码印花工艺,熔融沉积3D打印立体印花将印花图案在三维空间上拓展,创造出独特的立体效果,凸显出服装印花的层次感与视觉感。由于熔融沉积3D打印立体印花具有三维空间结构,因此使用SolidWorks软件进行立体印花的三维模型设计。立体印花的三维模型主要分为平面拉伸型和空间曲面型。平面拉伸型立体印花是将平面印花图案拉伸至一定高度而形成的实体模型(如图7a所示);空间曲面型立体印花是将多个NURBS曲面缝合而成的曲面模型(如图7b所示)。

进行立体印花三维模型设计时应尽量避免产



a—平面拉伸型; b—空间曲面型

图7 平面拉伸型及空间曲面型立体印花

生悬空部分,因为悬空部分需要通过支撑结构来辅助成型。一方面支撑结构难以拆除,另一方面支撑结构影响了立体印花模型的表面质量。通过设置合理的悬垂角度以避免模型产生支撑结构,悬垂角度即模型悬空部分与成型平台(水平方向)的夹角 $\gamma$ 。当夹角 $\gamma \geq 45^\circ$ 时,模型的悬空部分不会产生支撑;当夹角 $\gamma < 45^\circ$ 时,模型的悬空部分即会产生支撑<sup>[13]</sup>。因此,使用SolidWorks软件进行立体印花的三维建模时,模型的悬垂角度应不低于 $45^\circ$ 。

#### 4.2 立体印花的3D打印

3D打印立体印花的第一步,需要对涤纶织物进行夹持固定并设置初始高度。首先,把涤纶织物均匀平铺在成型平台上,使用燕尾夹将涤纶织物夹持固定在成型平台四周边框上,夹持时需绷紧织物表面(如图8所示)。随后,调节挤出头Z轴方向的高度,使得挤出头底部刚好接触织物表面,其判断方法为:通过手动平移挤出头,使挤出头朝水平方向任意位置移动,观察挤出头是否刮碰到织物表面并在织物表面产生印记。如果产生印记,则需要增大Z轴方向的高度,直至不产生印记。最后,移动挤出头使其归位至原点坐标处,设置初始高度,将挤出头向上移动一定数值,为打印首层黏合结构预留挤出间隙。

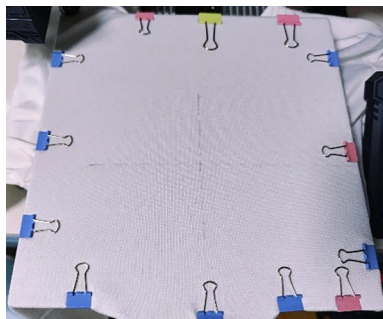


图8 织物的夹持固定

切片参数设置主要是对首层(即黏合层)成型参数进行设置,根据上文中成型参数对TPU-PET织物界面黏合性能的试验结果,参考优选成型参数,对首层(即黏合层)成型参数进行设置如下:初始高度

0.05 mm、打印速度 10 mm/s、挤出温度 235 °C、打印层高 0.2 mm、填充密度 100%、挤出倍率 100%。综合考虑性能、时间和成本等因素,其余层成型参数设置如下:打印速度 30 mm/s、挤出温度 215 °C、打印层高 0.2 mm、填充密度 50%、挤出倍率 90%。此切片参数组合既保证了首层 TPU-PET 界面的黏合性能,又提升了其余层的打印速度,减少了材料的消耗<sup>[14]</sup>。

3D打印立体印花时,为进一步增强TPU-PET织物界面的黏合性能,延长黏流态TPU丝材流动和渗透的时间,需要提前对成型平台进行预热,手动控制成型平台升温至80 °C<sup>[15]</sup>。打印过程中,成型平台温度需保持80 °C不变。对于3D打印进程中出现的拉丝等问题,可等待打印结束后,通过后处理手段,利用机械打磨等方法去除<sup>[16]</sup>。熔融沉积3D打印立体印花实物(“鱼鳞印花”)如图9所示,此3D打印“鱼鳞印花”尺寸精度高、与织物表面的黏合性能好。结合个性化定制,创造出了三维装饰性强、空间层次丰富、结构繁复多变的立体印花造型,极大丰富了服装设计的视觉语言,体现了3D打印技术为服装带来的实用价值。

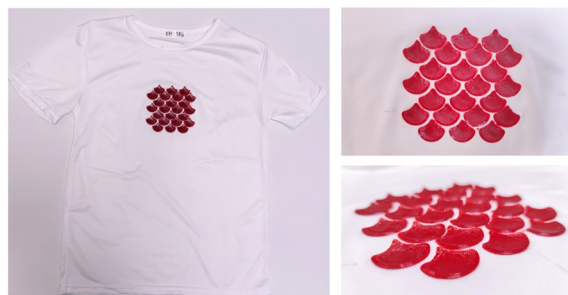


图9 熔融沉积3D打印立体印花实物(“鱼鳞印花”)

#### 5 结论

3D打印作为一种新兴技术已经在服装领域取得了广泛的应用,熔融沉积3D打印立体印花是一种创新的尝试。笔者选用热塑性聚氨酯(TPU)为3D打印丝材、涤纶(PET)为织物基材,通过剥离试验探究了成型参数对TPU-PET织物界面黏合性能的影响。结果表明,0.05~0.15 mm范围内,TPU-PET织物界面的平均剥离强度随初始高度的减小而增大;10~50 mm/s范围内,TPU-PET织物界面的平均剥离强度随初始高度的减小而增大;195~235 °C范围内,TPU-PET织物界面的平均剥离强度随挤出温度的增加而增大。优选成型参数为初始高度 0.05 mm、打印速度 10 mm/s、首层挤出温度 235 °C,其余层挤

出温度 215 °C。应用 SolidWorks 软件设计“鱼鳞印花”三维模型,其使用优选成型参数打印制作。3D 打印立体印花在服装中的应用,创造出独特的三维装饰效果,使得印花的设计和生產流程更加精简,让服装设计更具时尚性、艺术性和个性化的特点。

#### 参考文献

- [1] 王雨凡,肖文陵.3D打印技术及其在针织女装设计中的应用[J]. 针织工业,2022(10):63-67.  
Wang Yufan, Xiao Wenling. 3D printing technology and its application in the women's knitwear design[J]. Knitting Industry, 2022 (10):63-67.
- [2] 杨蕾,刘丽妍.3D打印技术及材料在服装领域的应用与发展[J]. 针织工业,2019(10):53-57.  
Yang Lei, Liu Liyan. Application and development of 3D printing technology and materials in the clothing industry[J]. Knitting Industry, 2019(10):53-57.
- [3] 杨露,孟家光,薛涛,等.基于对柔性PLA的性能研究开发3D打印柔性面料[J]. 合成纤维,2020,49(12):32-35,56.  
Yang Lu, Meng Jianguang, Xue Tao, et al. Development of 3D printing flexible fabric based on performance research of flexible PLA [J]. Synthetic Fiber in China, 2020, 49(12):32-35, 56.
- [4] 周洪雷,徐冉.3D打印技术在可穿戴服装中的应用研究[J]. 产业用纺织品,2019,37(12):37-41.  
Zhou Honglei, Xu Ran. Application research of 3D printing technology in wearable clothing[J]. Technical Textiles, 2019, 37(12): 37-41.
- [5] 郑军明.服装印花行业现状问题及未来发展[J]. 网印工业,2016 (10):13-14.  
Zheng Junming. Current situation problems and future development of the clothing printing industry[J]. Screen Printing Industry, 2016(10):13-14.
- [6] 王思懿.基于FDM 3D打印的服装设计开发[J]. 染整技术,2018, 40(12):31-32,38.  
Wang Siyi. Fashion design and development based on FDM 3D printing[J]. Textile Dyeing and Finishing Journal, 2018, 40(12):31-32, 38.
- [7] 邓喧,贾振兴,韩风安,等.热塑性聚氨酯(TPU)3D打印研究进展 [J]. 塑料,2023,52(1):111-115.  
Deng Xuan, Jia Zhenxing, Han Feng'an, et al. Review of the research progress of thermoplastic polyurethane (TPU) 3D printing [J]. Plastics, 2023, 52(1):111-115.
- [8] 王新,王进美,周娅楠.涤纶表面亲水改性研究进展[J]. 合成纤维,2021,50(7):27-30.  
Wang Xin, Wang Jinmei, Zhou Yanan. Research progress on hydrophilic modification of polyester surface[J]. Synthetic Fiber in China, 2021, 50(7):27-30.
- [9] 郝亚瞰,张倩,孙奉瑞.3D打印参数对PETG基TPU制品力学性能的影响[J]. 特种橡胶制品,2020,41(2):44-46.  
Hao Yadun, Zhang Qian, Sun Fengrui. Influence of 3D printing process parameters on mechanical properties of PETG-based TPU product[J]. Special Purpose Rubber Products, 2020, 41(2):44-46.
- [10] 祖睿超,范群福,陈玉洁,等.3D打印TPU材料的研究进展与应用[J]. 当代化工研究,2023(5):20-24.  
Zu Ruichao, Fan Qunfu, Chen Yujie, et al. Research progress and application of 3D printing TPU materials[J]. Modern Chemical Research, 2023(5):20-24.
- [11] 王晓,王彦丽,王宁宁,等.基于FDM的柔性材料3D打印工艺研究[J]. 机械工程与自动化,2020(1):1-3.  
Wang Xiao, Wang Yanli, Wang Ningning, et al. Research on 3D printing process of flexible materials based on FDM[J]. Mechanical Engineering & Automation, 2020(1):1-3.
- [12] 谢琅,傅菊芬.3D打印参数对TPU制品硬挺度的影响及优化 [J]. 现代丝绸科学与技术,2019,34(1):9-11.  
Xie Jian, Fu Jufen. The influence and optimization of 3D printing parameters on the stiffness of TPU products[J]. Modern Silk Science & Technology, 2019, 34(1):9-11.
- [13] 陈涛,郭志冬.基于FDM 3D打印悬空部位缺陷的模型优化处理[J]. 三门峡职业技术学院学报,2020,19(2):133-137.  
Chen Tao, Guo Zhidong. Optimization of model processing based on FDM 3D printing of suspended position defects[J]. Journal of Sanmenxia Polytechnic, 2020, 19(2):133-137.
- [14] 林海英,崔博然,刘冰河.3D打印工程塑料力学特性分析[J]. 公路交通科技,2017,34(1):149-153.  
Lin Haiying, Cui Boran, Liu Binghe. Analysis on mechanical property of 3D printing engineering plastic[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2017, 34 (1):149-153.
- [15] 曾娇,汪艳,何峻涛,等.3D打印具有形状记忆效应的TPU/PCL 复合材料研究[J]. 工程塑料应用,2021,49(9):77-81.  
Zeng Jiao, Wang Yan, He Juntao, et al. Research on 3D printing TPU/PCL composite material with shape memory effect[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(9):77-81.
- [16] 侯高雁,朱红,刘凯,等.3D打印成形件后处理工艺综述[J]. 信息记录材料,2017,18(7):19-21.  
Hou Gaoyan, Zhu Hong, Liu Kai, et al. Overview of post processing technology for 3D printed molded parts[J]. Information Recording Materials, 2017, 18(7):19-21.