

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2019.12.013

螺杆挤出式 3D 打印成型设备喷头设计及温度场数值模拟

秦望¹, 白海清^{1,2}, 贾仕奎^{2,3}, 张奇锋³, 曹乐³, 安熠蔚¹

(1. 陕西理工大学机械工程学院, 陕西汉中 723001; 2. 陕西省工业自动化重点实验室, 陕西汉中 723001;

3. 陕西理工大学材料科学与工程学院, 陕西汉中 723001)

摘要: 针对熔融沉积成型 (FDM) 3D 打印机耗材选择范围有限、出丝不均、材料挤出不稳定、喷头堵塞及制品精度难控制等问题, 在现有 3D 打印成型原理及结构分析的基础上, 根据双螺杆挤压成型原理, 设计了一种新型螺杆挤出式 3D 打印成型设备喷头, 建立其三维模型, 运用有限元分析的方法, 研究了喷头结构的热量分布规律, 对其温度场做了仿真分析。分析结果表明, 熔体与喷嘴之间的温差较小, 热流道温度分布均匀, 喷头系统的热量损失少, 因此物料可稳定连续化挤出, 从而说明该新型喷头结构设计合理。

关键词: 3D 打印成型设备; 双螺杆挤压; 喷头装置; 有限元分析; 温度场

中图分类号: TQ320.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2019)12-0073-06

Nozzle Structure Design of Screw Extrusion Type 3D Printing Molding Equipment and Numerical Simulation Analysis of Temperature Field

Qin Wang¹, Bai Haiqing^{1,2}, Jia Shikui^{2,3}, Zhang Qifeng³, Cao Le³, An Yiwei¹

(1. College of Mechanical Engineering, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723001, China;

2. Shaanxi Key Laboratory of Industrial Automation, Hanzhong 723001, China;

3. College of Materials Science and Engineering, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723001, China)

Abstract : In view of problems of fused deposition modeling (FDM) three-dimensional (3D) printers, including the limited selection of consumables, uneven yarn output, unstable material extrusion, nozzle clogging and difficult control of product precision, on the basis of the analysis of the existing 3D printing principle and structure, according to the principle of twin-screw extrusion molding, a new type of screw-extrusion 3D printing molding machine nozzle was designed, and its three-dimensional model was established. The heat distribution law of the nozzle structure was studied by finite element analysis. The temperature field was simulated and analyzed. The analysis results show that the temperature difference between the melt and the nozzle is small, the temperature distribution of the hot runner is uniform, and the heat loss of the nozzle system is small, so the material can be stably and continuously extruded, which shows that the structure design of the new nozzle is reasonable.

Keywords : 3D printing and forming equipment ; twin-screw extrusion ; nozzle device ; finite element analysis ; temperature field

3D 打印是增材制造的重要实现方式,其本质是一种快速成型技术。它的成型基础是将物体的形状制成计算机模型,并运用粉末状金属或塑料等可粘合的材料^[1],将原材料一层层累积起来,最后将计算机上的蓝图构造为实物,目前主要应用于工业设计、模型模具及零部件制造等领域。传统的熔融沉积成

型 (FDM) 技术采用热塑性丝料,借助送丝系统,经过打印喷嘴处加热系统的融化,丝料由固态转变成可流动的黏流态,最终在喷嘴处挤出,二维片状图层在进给系统作用下逐层累积成型^[2]。然而,现有的 3D 打印设备多采用丝状打印材料,由于一些材料具有较强的脆性,不易制成丝状,且为适应不同型号

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51703121), 中国博士后科学基金特别资助项目 (2018T111050)

通讯作者: 白海清,教授,硕士研究生导师,研究方向为数字化制造及装备和机电系统监测与控制技术 E-mail : snutbret@live.com

收稿日期: 2019-10-01

引用格式: 秦望,白海清,贾仕奎,等. 螺杆挤出式 3D 打印成型设备喷头设计及温度场数值模拟 [J]. 工程塑料应用, 2019, 47(12) : 73-78, 85.

Qin Wang, Bai Haiqing, Jia Shikui, et al. Nozzle structure design of screw extrusion type 3D printing molding equipment and numerical simulation analysis of temperature field[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(12) : 73-78, 85.

的打印设备,需制备不同尺寸型号的丝状打印材料,同时 3D 技术对打印材料的黏度以及塑化后流动稳定性要求高^[3],从而导致产品耗材成本增大、环保性差、材料的应用种类和制品的性能受限。而基于螺旋挤压的 3D 打印机被常用作技术解决方案,尤其是桌面型开源设备,以解决丝料打印存在的问题^[4]。目前,国内外科研工作者进行了诸多研究。王天明等^[5]根据螺杆挤压技术和已有喷头技术的特点,提出一种新型挤压堆积式喷头;吴明星^[6]研究了微型挤出熔体的流变行为,完成了螺杆的优化设计;Z. C. Silveira 等^[7]研究了微型螺杆挤出技术应用于桌面熔融沉积 3D 打印机中的可行性;刘春晖^[8]对现有的 3D 打印装置进行了参数化结构优化设计;陈磊^[9]探究了螺杆安装位置和打印温度对打印件质量的影响,但打印参数的匹配度不够精确。传统单螺杆挤压式打印成型设备在打印质量、设备结构、效率等方面仍存在问题,诸如原料混合不均匀、进料速率不均匀、材料挤出不稳定、喷头堵塞及制品精度难控制等,尤其对于螺杆挤出式 3D 打印成型来说,喷头装置是非常重要的组成部分,物料从喷头挤出是整个挤出过程中最后一个阶段,其挤出质量对后续 3D 堆积成型有着重要的影响,故有必要对喷头结构进行研究分析。

针对传统单螺杆挤压式打印成型设备存在的问题,设计了一种新型桌面级双螺杆式 3D 打印成型设备喷头,分析了设备的整体运动方案,利用 Auto CAD 软件绘制了新型 3D 打印成型设备及喷头结构的二维图,利用有限元分析软件 ANSYS 的热力学分析模块对 3D 打印设备的喷头装置进行了数值模拟分析,分析结果表明物料可稳定连续化挤出、喷头结构设计合理。该方案为解决打印机耗材选择范围有限、出丝不均、材料挤出不稳定、喷头堵塞等问题提供一定的借鉴,同时为新型打印工艺的“设计理念-模型-结构”智能化制造和“低成本与绿色制造”概念的提出提供新的思路^[10]。

1 新型 3D 打印成型设备及其喷头结构设计

1.1 新型 3D 打印成型设备结构设计

新型 3D 打印成型设备采用外加热式螺杆挤出系统实现打印材料的熔融塑化,在此过程中物料依次通过加料段、压缩段和均化段。

物料先由料斗进入料筒被压实,然后在压缩段经过温化作用逐渐转变为熔融体,最后在均化段内定温、定量、定压地通过机头口模由喷嘴挤出,进而

定型得到打印成品^[11]。设备的工作流程图如图 1 所示。根据双螺杆挤压成型原理及 3D 打印成型设备的加工特点,分析并设计其各运动部件的整体布局和控制传动方案,如图 2 所示。通过对各执行部件的运动进行合理分解,以满足进给系统对各个运动参数的精确调整。

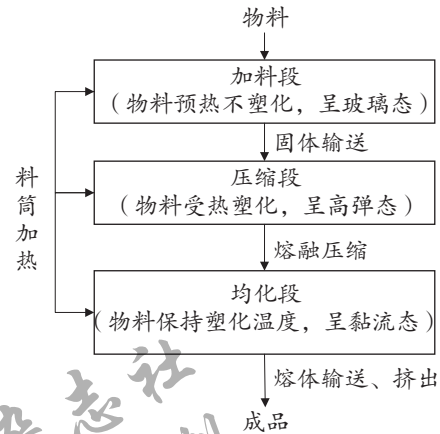
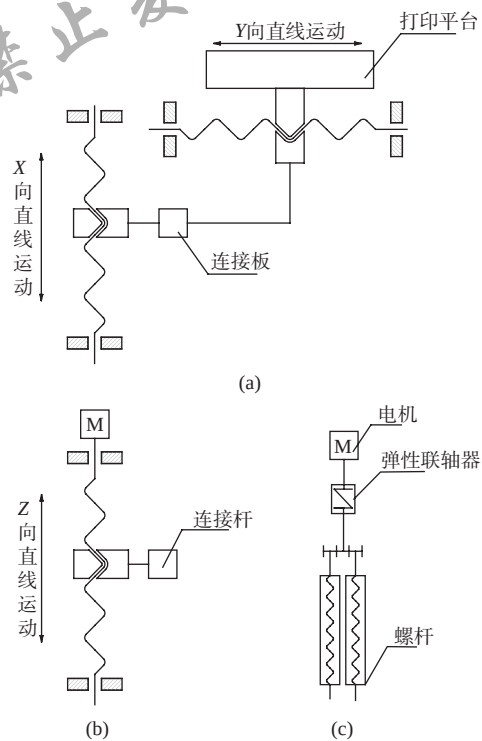


图1 新型 3D 打印成型设备工作流程图



a—X, Y向进给运动系统; b—Z向进给运动系统;

c—螺杆挤压传动系统

图2 新型 3D 打印成型设备的运动原理图

双螺杆挤出系统是打印设备的核心,其中动力的稳定传动是打印设备高效运作的重要保证。控制单元驱动电机部件,通过与电机部件相连的传动部件将电机的旋转运动转化为打印工作台及喷头的直

线位移; 齿轮组在电机和联轴器带动下转动, 相互啮合的齿轮组牵引螺杆转动, 进而实现动力源的传递, 保证物料挤压所需的动力。物料进入料筒后, 经料筒内壁和螺杆的相互作用, 在加热和冷却系统辅助下, 通过喷头口模结构, 完成从熔融挤压到成型的全过程。

整个运动系统, 通过对 3D 打印成型设备各个部件运动参数的精确化控制, 避免各部件运动干涉, 从而保证机构安全运行。

在现有 3D 打印成型原理及结构分析的基础上, 根据双螺杆挤压成型原理, 设计了一种新型螺杆挤出式 3D 打印成型设备, 其结构装置简图如图 3 所示。

该设备主要包含三部分: X 、 Y 和 Z 向进给系统、双螺杆挤出系统、加热和冷却系统。双螺杆挤出系统包括机筒、螺杆、料斗、喷头这四大部件, 机筒 9 上的进料口 20 可保证物料定量加入, 筒壁上安装的超声振动装置 17 能有效促进物料的均匀搅拌, 使整个系统完成物料的熔融挤压和输送; Z 向进给系统

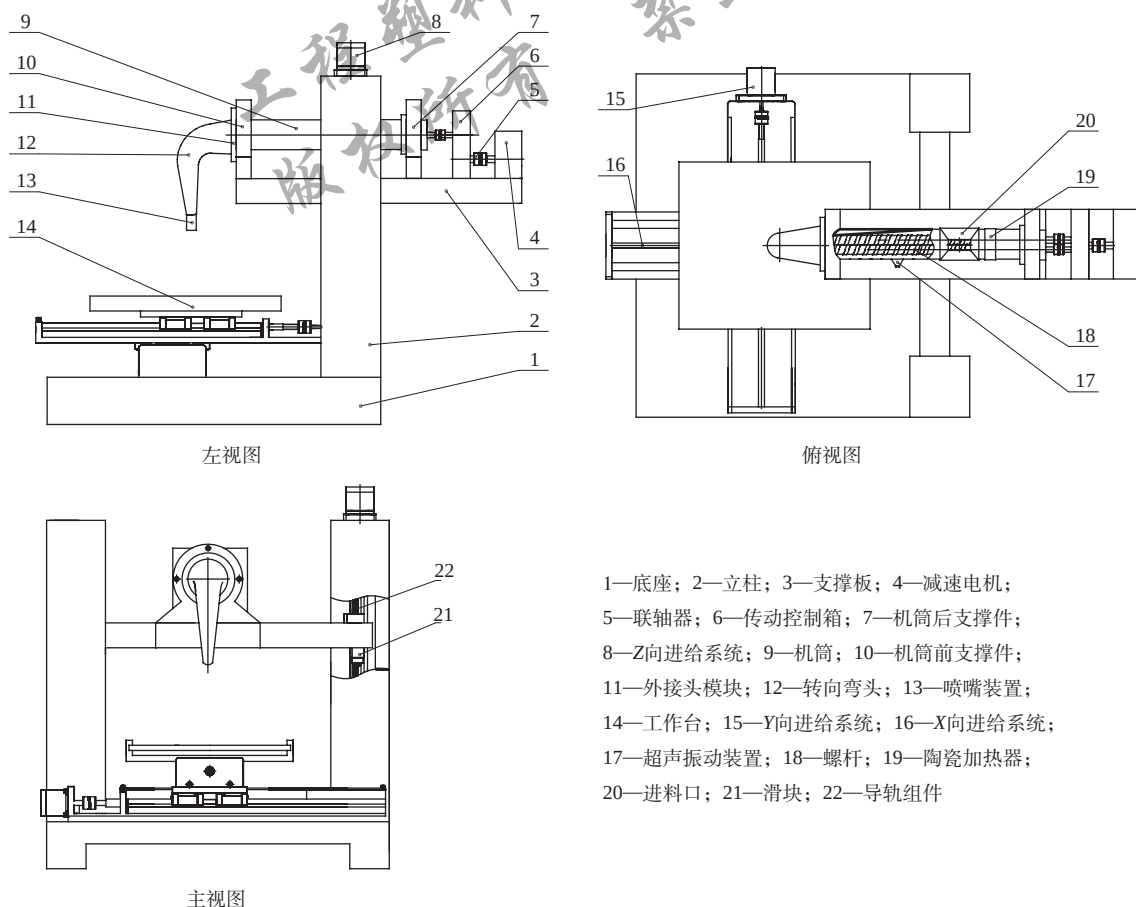
8 由滑动导轨组件 22、滑块 21、滚珠丝杠、限位装置和伺服电机组成, 通过滑轨组件带动螺杆挤出系统, 完成喷头的 Z 向进给; X 、 Y 向进给系统 15、16 由双滑动导轨、滑块组、丝杠、限位装置、伺服电机、连接板等构成, 驱动打印平台完成水平双向的复合进给。为解决打印制品的翘曲现象, 新型打印设备工作台 14 为特殊的电加热玻璃。整个机构通过对 X 、 Y 、 Z 三向进给系统的精准控制, 完成高效打印。

1.2 喷头结构设计

对于螺杆挤出式 3D 打印成型设备来说, 喷头装置是非常重要的组成部分, 是决定打印精度和效率的关键所在, 笔者根据新型 3D 打印成型设备的运动学原理和打印成型的精度要求, 进行喷头结构设计。

螺杆挤出式 3D 打印喷头主要有两大功能: 一是控制螺杆系统输送来的熔融体温度在一定范围之内; 二是将黏度均匀的熔融体定温、定压、定量地挤出在打印平台上。

由传热学原理可知, 中空结构可起到隔热层作



- 1—底座; 2—立柱; 3—支撑板; 4—减速电机;
- 5—联轴器; 6—传动控制箱; 7—机筒后支撑件;
- 8— Z 向进给系统; 9—机筒; 10—机筒前支撑件;
- 11—外接头模块; 12—转向弯头; 13—喷嘴装置;
- 14—工作台; 15— Y 向进给系统; 16— X 向进给系统;
- 17—超声振动装置; 18—螺杆; 19—陶瓷加热器;
- 20—进料口; 21—滑块; 22—导轨组件

图 3 新型 3D 打印成型设备的结构简图

用,会使流经内流道的流体热量损失很少,能够保证熔融体温度的稳定性和物料的流动性,从而使成品质量的稳定性能大大提高。故喷头系统采用双层结构,内流道为热-流耦合面,外流道为空气与外壁面的对流换热面。为了保证喷头温度的可控性,装有温度传感器。喷头部件主要由换向弯头和喷头两大部分组成。其结构装置如图4和图5所示。



图4 喷头装置模型图

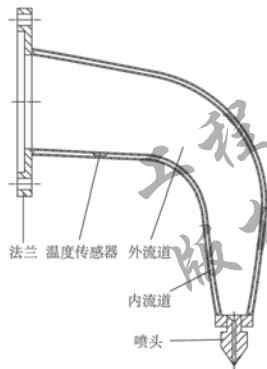


图5 喷头结构剖面图

该喷头装置结构简单,拆卸方便,且喷头内部流道口径由大到小的递减变化可以有效增加物料的挤出压力;换向弯头可实现物料由水平运动方向向垂直方向的过渡;通过对喷嘴口径大小的控制,来控制打印制品的精度。

2 数学模型的建立

2.1 喷头传热机理

物料从喷头挤出是整个挤出过程中最后一个阶段,其挤出质量对后续3D堆积成型有重要影响,故对挤出质量有以下两个方面的要求:一是物料挤出时的黏度要合适,二是要保证物料挤出时的稳定性^[12]。而黏度和稳定性均与温度有着直接的关系,若温度过高会造成物料黏度低,挤出时压力小且连续性差,成型困难;而温度太低,物料易提前冷却,造成在流道中流动困难,甚至堵塞喷头。熔融体从

喷头入口至喷嘴出口的温度保持一致,才能使整个热流道内温度分布均匀合理,从而保证打印制品成型质量的稳定性和可靠性^[13]。当热量传递达到动态平衡后,喷头内部各位置点的温度不随时间变化,即此过程是一稳态传热过程^[14]。

2.2 喷嘴传热学模型

螺杆挤出式连续成型过程中涉及到多种热传递现象,而热传递的发生对制品加工过程中工艺条件及精度控制非常重要。熔体由喷头挤出过程中,需要对流场中的动态流体进行热学分析,根据能量守恒和传递机理,3D打印挤出成型过程热传递涉及到三种基本形式:热传导、热对流、热辐射^[15]。

热传导遵循傅里叶基本定律:

$$q'' = -k \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

式中: q'' ——热流密度;

k ——热导率;

dT/dx ——温度变化率。

热对流满足牛顿冷却基本方程:

$$q'' = h(T_s - T_b) \quad (2)$$

式中: h ——对流换热系数;

T_s ——固体的表面温度;

T_b ——周围流体温度。

热辐射满足斯蒂芬-波尔兹曼基本方程:

$$q = \varepsilon \sigma A_1 F_{12} (T_1^4 - T_2^4) \quad (3)$$

式中: q ——热流率;

ε ——辐射率;

σ ——黑体辐射常数,约为 $5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

A_1 ——辐射面1的面积;

F_{12} ——由辐射面1到辐射面2的形状系数;

T_1 ——辐射面1的绝对温度;

T_2 ——辐射面2的绝对温度。

物料在喷头内部流动时与喷头内壁面的传热属于对流换热,是热-流-固耦合传热问题。

3 喷头装置的温度场有限元分析

3.1 模型建立与网格划分

为了便于分析和计算喷头几何模型,对模型进行简化,并使用填充命令构建流场模型。流场有限元模型根据材料在挤出喷头内部的运动情况作出以下假设和简化^[16]:

(1) 流体为不可压缩流体,层流流动;

(2) 流体与喷头壁面之间无滑移;

(3) 忽略流体流动过程中重力和惯性力的影响;

(4) 材料导热系数等热物理参数不随温度与时间变化。

喷头模型采用结构适应性强的四面体网格作为主要网格划分方式,喷头和流体的网格划分的效果图如图 6 和图 7 所示,流体共含有 398 262 个节点,1 445 954 个单元;喷头有 1 648 568 个节点,1 102 297 个单元。

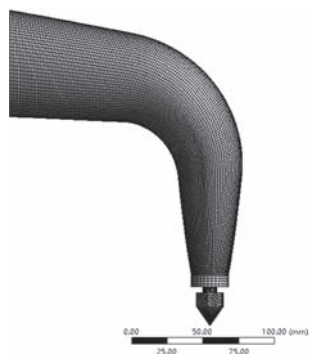


图 6 喷头网格划分三维模型

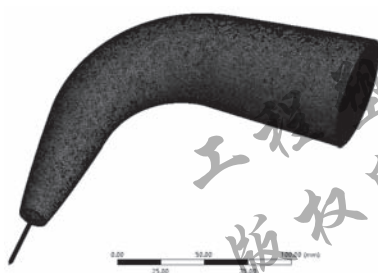


图 7 流体网格划分

3.2 材料选取与边界条件设置

喷头部件材料的选取直接影响着喷头的导热性能与温度分布,从而决定了打印制品的成型质量与成型效率^[17],故选取 304 不锈钢和铜。选择聚乙烯 (PE) 材料进行打印,材料的熔融温度为 110 ~ 115℃, PE 无毒无臭无味,具有耐热性良好、化学稳

定性能较好、耐腐蚀等优点,因而被广泛应用于各个领域^[18]。

设置物性参数与界面参数:模型边界主要分为三种类型:壁面、流场进出口和耦合面。设定初始室温为 295.15 K,熔体进入喷头流道时设为 388.15 K,喷头部件外表面与大气的热对流换热系数设为 20 W/(m²·℃),不锈钢与外部空气之间对流系数为 10 W/(m²·℃);流场进口设置为质量流量入口边界条件,模拟计算时根据螺杆挤出产量公式^[19]输入物料质量流率,出口设为零压力出口,喷头的内壁面和流体的外表面的边界条件是热流固耦合面。

3.3 喷头装置的温度场分析

最终求解的喷头装置的稳态温度场和物料内部流场的具体温度分布云图如图 8 和图 9 所示。如图 8 所示,在螺杆转速恒定下,流量不变,由于流道口径逐渐缩小,流体流速逐渐增加,导致物料温度由流道入口处至喷嘴出口处呈渐变趋势。由图 9 可以看出,喷头热流道内温度分布均匀,温度梯度小,最低温度出现在喷头结构的外壁面,说明挤压过程中熔融体从喷头入口至喷嘴出口的温度几乎保持一致,热量损失很少,能够保证熔融体温度的稳定性和



图 8 喷头流场温度云图

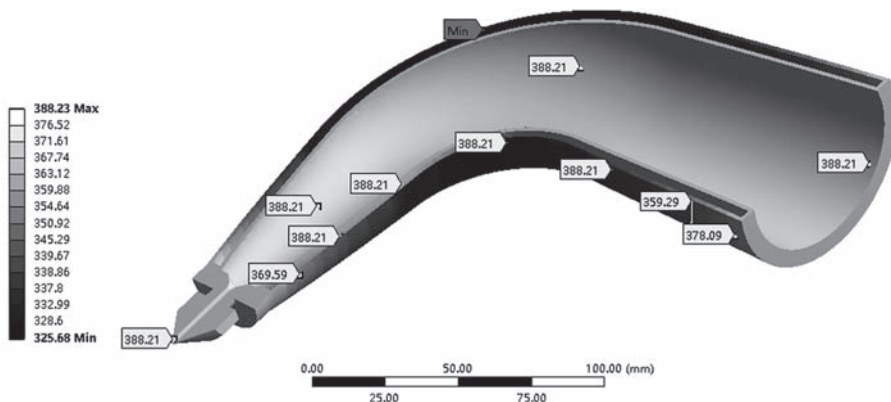


图 9 喷头稳态温度场云图

物料的流动性。喷头流道内的最低温度也超过了粒料由固态变为熔融态所需的最低温度 382.15 K,从而能够为实际的 3D 打印过程提供充足的熔融态材料,以便物料稳定挤出,符合实际工作要求。

4 结语

通过对喷头装置进行数值模拟分析,得到热流道内流体的温度分布、喷头的稳态温度分布,经分析发现熔体与喷嘴之间的温度梯度很小,热流道熔体温度分布均匀,挤压过程中热量损失少,能保证熔体从喷头入口至喷嘴出口温度的一致性。因此,物料能稳定连续化挤出,从而说明该新型 3D 打印设备喷头结构设计合理,能有效解决出丝不均、材料挤出不稳定及喷头易堵塞等问题。

该新型螺杆挤出式 3D 打印成型设备具有整体结构简单紧凑、使用方便、成本低等优点,能有效解决目前 3D 打印设备材料的选用种类受限问题,避免二次熔融,材料可以是单一或混合的粉末状或颗粒状新型材料,适合广大快速成型尤其绿色制造领域使用。

参考文献

- [1] 蒋立新,易翔翔,邵洁. 3D 打印技术的发展及在军工领域的应用[J]. 中国军转民,2013(12):58-62.
Jiang Lixin, Yi Xiangxiang, Shao Jie. Development of 3D printing technology and its application in military industry[J]. Chinese Military Transfer, 2013(12):58-62.
- [2] 邹国林. 熔融沉积制造精度及快速模具制造技术的研究[D]. 大连:大连理工大学,2002.
Zou Guolin. Study on precision of FDM and rapid tooling based on FDM & LOM[D]. Dalian:Dalian University of Technology, 2002.
- [3] 刘丰丰. 基于熔体微分原理的聚合物复合材料 3D 打印成型技术研究[D]. 北京:北京化工大学,2017.
Liu Fengfeng. Research on melt differential 3D printing technology of polymer composites[D]. Beijing:Beijing University of Chemical Technology, 2017.
- [4] Tseng J W, Liu C Y, Yen Y K, et al. Screw extrusion-based additive manufacturing of PEEK[J]. Materials & Design, 2018, 140:209-221.
- [5] 王天明,习俊通,金烨. 颗粒体进料微型螺旋挤压堆积喷头的设计[J]. 机械工程学报,2006(9):178-184.
Wang Tianming, Xi Juntong, Jin Ye. Design of mini-screw-extruding deposition head FED based on bulk material in granulated form[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2006(9):178-184.
- [6] 吴明星. 微型挤出熔体流变行为分析及螺杆优化设计研究[D]. 广州:华南理工大学,2010.
Wu Mingxing. Research of rheological behavior of melt and optimal design for screw based on micro-extrusion[D]. Guangzhou:South China University of Technology, 2010.
- [7] Silveira Z C, De Freitas M S, Inforcatti Neto P, et al. Study of the technical feasibility and design of a mini head screw extruder applied to filament deposition in desktop 3-D printer[J]. Key Eng Mater, 2013, 572:151-154.
- [8] 刘春晖. 木塑挤出与 3D 复合成型的设计优化[D]. 青岛:青岛科技大学,2016.
Liu Chunhui. Matching desing and optimization of extrusion molding and the movement platform 3D[D]. Qingdao:Qingdao University of Science & Technology, 2016.
- [9] 陈磊. 基于数值模拟的塑料颗粒 3D 打印机关键技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2016.
Chen Lei. The research of key technologies of plastic particles 3D printer based on simulation[D]. Harbin:Harbin Institute of Technology, 2016.
- [10] 毕向军,田小永,张帅,等. 连续纤维增强热塑性复合材料 3D 打印的研究进展[J]. 工程塑料应用,2019, 47(2):138-142.
Bi Xiangjun, Tian Xiaoyong, Zhang Shuai, et al. Research progress in 3D printing technology of continuous fiber reinforced thermoplastic composites[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(2):138-142.
- [11] 王明福,鲍红霞,林春平. 挤出工艺对尼龙-12 球囊管材性能的影响[J]. 塑料制造,2014(5):81-84.
Wang Mingfu, Bao Hongxia, Lin Chunping. Effect of extrusion process on properties of nylon-12 balloon pipe[J]. Plastics Manufacture, 2014(5):81-84.
- [12] 高志强. 基于熔积法木塑挤出成型的传热分析与温度控制[D]. 青岛:青岛科技大学,2018.
Gao Zhiqiang. Heat transfer analysis and temperature control of wood plastic extrusion based on fusion deposition principle[D]. Qingdao:Qingdao University of Science & Technology, 2018.
- [13] 汪传生,王虎子,蔡宁,等. 粉体喂料 3D 打印机喷头装置的温度分析及优化设计[J]. 中国塑料,2018, 32(2):98-102.
Wang Chuansheng, Wang Huzi, Cai Ning, et al. Temperature analysis and optimization design of nozzles of powder feeding 3D printers[J]. China Plastics, 2018, 32(2):98-102.
- [14] 王利. 熔融沉积成型过程传热及其数值模拟研究[D]. 昆明:昆明理工大学,2016.
Wang Li. Heat transfer and numerical simulation research of fused deposition modeling process[D]. Kunming:Kunming University of Science and Technology, 2016.
- [15] 陈艳霞,陈磊. ANSYS Workbench 工程应用案例精通[M]. 北京:电子工业出版社,2012.
Chen Yanxia, Chen Lei. ANSYS Workbench engineering application case proficient[M]. Beijing:Publishing House of Electronics Industry, 2012.

I 21)、滑块 II 36 成型部分 (侧型芯 II 33)、定模镶块 48 及小型芯杆 49 等组合而成。模具经过充填、保压、补缩和冷却定型后准备好开模。

(3) 模具开模。合模系统带动动模和定模从分型面处开始分开,当动模后撤到一定位置时完成开模;与此同时在开模力的作用下斜导柱 I 19 和斜导柱 II 29 分别驱动滑块 I 24 和滑块 II 36 抽出侧型芯。

(4) 模具脱模。模具顶出机构在注射机顶棒的推顶作用下与动模其它部分产生相对运动,于是塑件和浇注系统凝料被从动模中顶出脱落,就此完成一次模具工作过程^[9-11]。

4 结语

设计了一套细长感应开关壳体的一模四腔的两板式抽芯模具。针对塑件宽度方向抽芯机构在模具内部而导致的设计难题,创新设计一套特殊的侧抽芯机构来同时完成 4 个塑件的抽芯功能。该设计简化了模具结构,缩小了模具体积。生产实践证明,该模具设计合理,运行平稳,批量生产的塑件变形小,质量良好,达到了预期效果,对同类产品的模具开发具有较好的参考价值。

参考文献

- [1] 何伟壮. 有机硅阻燃 PBT 及其合金的制备与性能研究 [D]. 杭州: 杭州师范大学, 2017.
He Weizhuang. Preparation and properties of organosilicon flame retardant PBT and alloy [D]. Hangzhou: Hangzhou Normal University, 2017.
- [2] 徐佩弦. 塑料注射成型与模具设计指南 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.
Xu Peixuan. Guidelines for plastic injection molding and mold design [M]. Beijing: China Machine Press, 2013.
- [3] 沈言锦. 饮水机接线端外壳注塑模具设计 [J]. 工程塑料应用, 2016, 44(9): 79-82.
Shen Yanjin. Mold design of drinking machine terminal shell [J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(9): 79-82.
- [4] 宾哲桂, 黄镇谨. 基于 CAD/CAE 的平板电脑后壳倒灌注塑模具设计 [J]. 塑料工业, 2019, 47(3): 55-61.
Bin Zhegui, Huang Zhenjin. Design of inverted filling mold for back shell of tablet computer based on CAD / CAE [J]. China Plastics Industry, 2019, 47(3): 55-61.
- [5] 冯文健, 黄镇谨, 王华金. 数据线插头盖二次顶出斜顶脱模机构及注塑模具设计 [J]. 工程塑料应用, 2019, 47(7): 93-99.
Feng Wenjian, Huang Zhenjin, Wang Huajin. Design of injection mould and inclined top ejecting mechanism with secondary ejection of data line plug cover [J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(7): 93-99.
- [6] 黄继战, 范玉, 仇文宁, 等. 基于 UG NX 的汽车音响面板注塑模具设计 [J]. 工程塑料应用, 2017, 45(9): 80-83.
Huang Jizhan, Fan Yu, Qiu Wenning, et al. Design of injection mould for car audio panel based on UG NX [J]. Engineering Plastics Application, 2017, 45(9): 80-83.
- [7] 张维合. 塑料成型工艺与模具设计 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2014.
Zhang Weihe. Plastic forming technology and die design [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2014.
- [8] 王晖, 刘军辉. 注射模设计方法及实例解析 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.
Wang Hui, Liu Junhui. Design method and example analysis of injection mold [M]. Beijing: China Machine Press, 2013.
- [9] 黄继战, 范玉, 仇文宁, 等. 汽车音响塑料面板热流道模具设计 [J]. 塑料科技, 2017, 45(10): 96-101.
Huang Jizhan, Fan Yu, Qiu Wenning, et al. Design of hot runner mold for car Audio plastic panel [J]. Plastics Science and Technology, 2017, 45(10): 96-101.
- [10] 陈剑玲. 茶杯杯螺旋底盖侧抽芯热流道注塑模设计 [J]. 中国塑料, 2015, 29(9): 89-92.
Chen Jianling. Design of injection molds with core-pulling mechanism and hot runner systems for screwed-bowl-covers [J]. China Plastics, 2015, 29(9): 89-92.
- [11] 黄继战, 范玉. 汽车侧后视镜壳体注塑模具设计 [J]. 工程塑料应用, 2019, 47(5): 110-114.
Huang Jizhan, Fan Yu. Design of injection mold for automobile side rear view mirror shell [J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(5): 110-114.

(上接第 78 页)

- [16] 郭大闯, 朱向哲, 滕健, 等. 平行三螺杆挤出机聚合物混沌混合的拉格朗日拟序结构分析 [J]. 工程塑料应用, 2019, 47(3): 65-71.
Guo Dachuang, Zhu Xiangzhe, Teng Jian, et al. Lagrangian coherent structures analysis of chaotic mixing in parallel arranged tri-screw extruder [J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(3): 65-71.
- [17] 何昱煜, 程军, 刘益剑, 等. 高温 FDM 喷头的有限元建模及温度场仿真 [J]. 塑料, 2019, 48(2): 79-81.
He Yuyu, Cheng Jun, Liu Yijian, et al. Finite element modeling and temperature field simulation of high temperature FDM sprinkler [J]. Plastics, 2019, 48(2): 79-81.
- [18] 李娇. 聚乙烯用阻燃剂研究进展 [J]. 工程塑料应用, 2016, 44(2): 145-148.
Li Jiao. Research progress on flame retardant for polyethylene [J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(2): 145-148.
- [19] 杨磊, 马睿, 黄部东, 等. FDM 3D 打印挤出螺杆设计及应用研究 [J]. 铸造设备与工艺, 2017(3): 8-10, 15.
Yang Lei, Ma Rui, Huang Budong, et al. Study on application and design of extrusion screw for FDM 3D printing [J]. Foundry Equipment & Technology, 2017(3): 8-10, 15.