

3D 打印工艺参数对塑料产品质量的影响

葛庆¹, 汪峯²

(1. 杭州职业技术学院, 杭州 310018; 2. 浙江理工大学, 杭州 310018)

摘要: 主要综述了 3D 打印过程中温度、打印速率、填充率、片层厚度等参数的优化以及对塑料制品性能和质量的影响。其中, 利用正交试验法能够同时对多种参数进行优化。另外, 还介绍了 3D 打印设备结构对 3D 打印产品质量的影响, 指出增加支撑结构、提高打印过程中的稳定性可以有效保证塑料产品的质量。

关键词: 3D 打印; 工艺参数优化; 设备结构优化; 产品质量

中图分类号: TQ340.644 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2017)12-0126-04

Influence of 3D Printing Process Parameters on Quality of Plastic Products

Ge Qing¹, Wang Fu²

(1. Hangzhou Vocational Technical College, Hangzhou 310018, China; 2. Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract : The optimization of 3D printing process such as temperature, printing speed, filling rate, chip thickness as well as the influence on the performance and quality of plastic resultant products was reviewed. Furthermore, orthogonal experimental method could be employed to optimize multi-parameters simultaneously. In addition, the influence of 3D printing equipment structure on the quality of 3D plastic printing products was also introduced. It was pointed out that improving the stability during the printing process and adding support structure could effectively guarantee the quality of products.

Keywords : 3D printing ; process parameter optimization ; equipment structure optimization ; product quality

基于数字模型技术的发展, 近年来 3D 打印技术发展迅速, 在军事、医疗、生物组织工程、航空航天等领域应用广泛, 并且适用于高分子材料、金属粉末材料、无机非金属材料等多种材料。用于 3D 打印的高分子材料主要以高分子丝材为主, 这种材料粘结性能优异、生产成本低、加工性能好, 可制备出形状复杂的 3D 打印塑料产品^[1-5]。

除了原料本身性能以外, 3D 打印的加工工艺也对 3D 打印塑料产品的性能具有显著的影响。例如加工温度会影响原料熔体的熔融程度、流动速率、冷却速率等; 打印速率会影响物料补充程度、片层厚度等^[6-10]。除此之外, 设备结构也在很大程度上影响 3D 打印产品的性能和质量, 例如增加支撑设备可提高打印过程稳定性, 从而提高制件质量^[11-15]。目前我国 3D 打印技术的发展还远不如美国、德国、日本等制造业发达的国家, 因此优化 3D 打印设备结构和工艺参数是科学研究和工业生产的研究重点, 也是提高我国在制造业领域竞争力的有效手段。

1 熔融沉积打印设备及工艺

3D 打印喷头是熔融沉积打印机的主要部件, 主要分为定位区、进给区、熔丝区和增材区。高分子丝材通过定位区定位, 以确保可以顺利进入进给区, 然后丝材在进给区轮组的摩擦力作用下进入熔丝区。高分子丝材在熔丝区熔融后, 在增材区的喷嘴喷出, 制得 3D 打印目标产品^[16]。

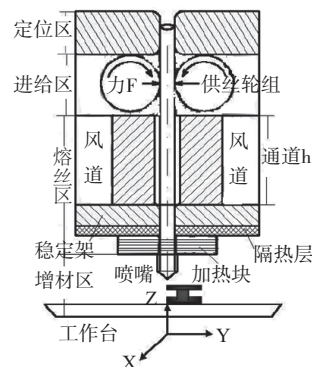


图1 3D 打印喷头结构

在产品加工过程中, 过快的进料速率会使高分子丝材熔融不完全, 而过慢的进料速率则会导致补料不足, 而影响进料速率的因素主要有进料区轮组的送料速率和挤丝压力; 熔丝区的熔丝温度会影响高分子丝材的熔融程度, 合适的熔丝温度是保证制件质量的前提, 过高的温度会导致物料碳化, 而过低的熔丝温度则导致物料熔融不充分; 增材区最重要的参数是喷嘴处的喷丝压力, 合适的喷丝压力能够保证熔融的高分子丝材顺利喷出, 又能够保证产品具有合适的冷却速率。在产品加工过程中, 除进给区的送料速率、挤丝压力、

联系人: 葛庆, 讲师, 主要从事工业产品设计方面工作

收稿日期: 2017-10-07

熔丝区的熔丝温度、增材区的喷丝压力等参数对制件质量有显著影响之外,对喷嘴温度、热床温度、支撑技术等参数进行优化,也可以提高塑料制件的质量。

2 熔融沉积打印工艺的优化

2.1 温度参数的优化

影响高分子丝材在3D打印加工过程中温度场的主要因素有喷头温度、热床温度、环境温度、散热片温度、稳定夹温度、电机温度等,这些温度参数影响高分子丝材的熔融、流动和冷却等一系列过程,进而影响制件的质量。

肖亮等^[17]首先利用有限元分析对丙烯腈-丁二烯-苯乙烯三嵌段塑料(ABS)在3D打印机喷头中的温度场、速度场和压力场进行了分析,研究了ABS的相变过程和喷丝机理。将稳定架温度、电机温度和散热片温度分别由原来的270,238,269℃降低至52,22,22℃,保持喷嘴和加热块温度为300℃,所制备的产品的总形变量成功降低了12.5%。屈晨光等^[18]利用3D打印技术制备了尺寸为60 mm×60 mm×2 mm的ABS方块制品,并研究了环境温度对产品收缩率和翘曲变形的影响。实验结果表明,当环境温度由20℃上升至70℃时,产品在刚打印完成时和调制24 h后时,垂直方向和水平方向的收缩率均逐渐上升。当室温为20℃时,刚打印完成时垂直方向和水平方向的收缩率分别为0.45%和0.37%,而调制24 h后垂直方向和水平方向的收缩率分别为0.45%和0.39%。同产品的尺寸收缩率不同的是,在较高的室温下所制备的3D打印产品的翘曲变形量则较低。当室温为70℃,制件的翘曲变形量仅约为0.15 mm。当室温为50℃时,3D打印制件的翘曲变形量和尺寸收缩率均较小,且制件的表面质量也较高。吴振兴^[19]也同样研究了环境温度对制件性能的影响。他以ABS为原料,利用熔融沉积3D打印技术制造了汽车门把手。当环境温度在5~25℃范围内变化时,所制备汽车门把手的硬度先升高后降低。5~13℃范围内,门把手的硬度增长较快;当环境温度为16℃时,所制备的门把手的硬度最高,为38.06,支撑性能最好;而当环境温度高于16℃后,门把手的硬度稍微下降,但在20~25℃范围内变换较为平缓。另外,在门把手加工过程中,需要用到支撑栅格,而支撑栅格的宽度则会影响到门把手的表面粗糙度。当支撑栅格宽度为1 mm时,汽车门把手的表面粗糙度最低,为10.40 μm;随栅格宽度增加,所制备的汽车门把手的表面粗糙度也相应增大,当栅格宽度为2 mm时,该工艺条件下所制备的汽车门把手的表面粗糙度为12.55 μm。

2.2 打印速率的优化

打印速率主要是影响熔融的高分子丝材在喷头中运动速率,主要包括送料速率、挤料速率和填充速率。

汪绍兴^[20]主要研究了3D打印过程中打印速率、填充线宽、片层厚度和轮廓宽度等因素对塑料制件力学性能的影响。以聚乳酸(PLA)为原料,制备了一种尺寸为100 mm×20 mm×5 mm的试样。研究发现,打印速率对制件力学性能的影响最为显著,其次是填充角度、片层厚度和轮廓宽度。当打印速率为40 mm/s、填充线宽为0.432 mm、片层厚度为0.254 mm、轮廓宽度为0.508 mm时,所制备的PLA试样的力学性能最好,抗拉基线强度为65.75 MPa,拉伸弹性模量为2081 MPa,拉伸应变为4.89 MPa。柴宇^[21]利用熔融沉积3D打印技术制备了一个ABS的双层圆柱台,下层圆柱台半径为30 mm,厚度为4 mm,上层圆柱台半径为10 mm,厚度为2 mm。通过调节送料速率、挤料速率和填充速率,研究这些工艺参数对制件表面粗糙度和压缩强度的影响。实验结果表明,填料速率对制件表面粗糙度影响较为显著,当填料速率由28 mm/s增大到34 mm/s时,制件表面粗糙度由10.44 μm增大到11.98 μm,增幅较大。经过条件优化后,当挤料速率为60 mm/s,送料速率为挤料速率的0.46~0.54倍,填充速率为挤料速率的0.43~0.56倍时,制件成型效果良好,而表面粗糙度与填充速率大小呈反比。也对不同填充速率下加工所得ABS制件的压缩强度进行了测试,结果表明在较低填充速率下所制备的制件具有较高的压缩强度。当填充速率为26 mm/s时,塑料制件的压缩强度为11.007 MPa;而当填充速率增加到34 mm/s时,制件的压缩强度降低至9.572 MPa。打印路径长度对制件性能的影响,究其根本是打印速率对制件性能的影响。袁泽林等^[22]通过熔融沉积3D打印技术制备了四层金字塔立方体,尺寸分别为80 mm×80 mm,40 mm×40 mm,20 mm×20 mm和10 mm×10 mm。通过研究控制器中Marlin固件的运动参数,优化了左侧、右侧和垂直的打印路径长度。当三者打印路径长度分别为293.6 mm,216.9 mm和106.3 mm时,制件的最大误差仅为0.09 mm。

2.3 正交法对各工艺参数综合优化

在3D打印加工过程中,不仅仅是单一加工参数对塑料制件的性能和质量造成影响,往往是温度、速率、填充率、层片厚度等一系列参数对其产生综合影响。对单一参数进行优化并不能有效提高制件的性能和质量,因此采用正交法对多种工艺参数进行综合优化才是提高制件性能的有效手段。

范孝良等^[23]设计了9组正交试验对PLA熔融沉积3D打印过程中各工艺参数进行优化,发现在支撑角度为45°、喷头温度为210℃、热床温度为60℃、出料速度为4 mm/s时,所制备的PLA制品成型质量良好,未出现丝料紊乱和局部堆积现象。范彩霞等^[24]利用3D打印技术制备了PLA材质、尺寸为20 mm×20 mm×5 mm的方块模型。设计了

14组正交实验,对喷头温度、热床温度和打印速率进行了优化,最终确定了最优的喷头温度为220℃,热床温度为64℃,打印速率为45 mm/s,在该加工工艺下制备的PLA制件的最大翘曲变形量仅为0.30 mm,与未优化之前相比,降低了约54%。徐佳^[25]利用熔融沉积3D打印技术制备了一种尺寸为40 mm×20 mm×10 mm的PLA方块试样,研究发现PLA丝材最合适的加工温度为210~230℃,过高的喷头温度会导致丝材碳化。另外还对分层厚度、进料速率、空走速率和填充率进行了优化。实验结果表明当分层厚度为0.1 mm、进料速率为40 mm/s、空走速率为40 mm/s、填充率为25%时,所制备的尺寸精度较高,X方向、Y方向和Z方向的误差仅为0.02 mm、0.02 mm和0.04 mm。李成^[26]利用3D打印技术和ABS树脂,制备了一种具有凸台和空洞的复杂零件结构,并对喷头温度、工作台温度、片层厚度、打印速率、填充比例、支撑与实体间隙等参数进行了优化。研究发现最佳的加工工艺为:喷头温度230℃、热台温度70℃、片层厚度0.2 mm、打印速率90 mm/s、填充比例20%、支撑与实体间隙0.7 mm。

朱景峰^[27]通过田口正交试验法考察了成型温度、填充率、层片厚度和打印速率对3D打印制件尺寸精度的影响。他以PLA为原料,制备了一种带有半球形凹槽的零件。研究发现,对制件尺寸精度影响的最高显著因子为成型温度,而较高显著因子为层片厚度、填充率和打印速率。最优加工工艺为成型温度215℃、片层厚度0.30 mm、填充率40%、打印速率70 mm/s。而且层片厚度还会在很大程度上影响制件的表面粗糙度,随层片厚度降低,制件表面粗糙度降低,但加工时间会相应延长。林宇等^[28]利用熔融沉积3D打印技术制备了一种螺丝钉,通过正交试验选择打印速率和打印温度,结果表明当打印速率为20 mm/s,打印温度为190℃时,打印所制备的螺钉的A端、B端和中点直径分别为4.02 mm、4.00 mm和3.96 mm,螺钉长度22.02 mm,直径误差和长度误差均低至0.02 mm。

3 打印设备结构的优化

除3D打印加工工艺参数外,3D打印机各零部件的结构也在很大程度上影响着3D打印产品的质量。例如,散热片结构影响3D打印过程中喷头中的温度场,从而影响高分子丝材的熔融程度。汪铁丰^[29]利用有限元分析法对熔融沉积3D设备喷头的热力学模式和温度场进行了模拟,设计了多种散热片的结构,并通过实际操作对散热片高度、散热片直径、片数、底座厚度、翘片厚度和翘片间间隔等进行了优化。实验结果表明,当散热片高度为10 mm、散热片直径为11 mm、散热片片数为4片、底座厚度为3.5 mm、翘片厚度为1 mm、翘片间间隔为1 mm时,所制备3D打印产品结构

尺寸精度较高,表面质量较好。3D打印机基座在很大程度上影响打印稳定性,进而影响产品质量。杨明^[30]利用有限元分析法对熔融沉积3D打印机的基座进行了模拟分析,通过去除一些不必要的凹槽和凸槽,优化了基座的结构,并将基座和立座整合成一个整体,还对基座材料进行了筛选,选取了牌号为2A12的铝合金。通过对基座结构和材料的优化和改良,在3D打印过程中模型最大变形量仅为0.001 mm,注射速率可达100 mm/s,可制备出尺寸精度高、外观美观的产品。蔡子灏等^[31]对彩色熔融沉积3D打印设备喷头的整体结构进行了优化,由原来的单色挤出喷头改进为多进单出型喷头。在混合腔顶盖处配备了1台色彩比例配置精确送料控制器,并将喷头出丝材牵引装置改进为步进电机。这种改良后的喷头可用于PLA和ABS丝材的彩色打印,当丝材原料为ABS时,喷头温度为240℃,热床温度为110℃;当丝材原料为PLA时,在喷头温度为210℃,热床温度为70℃的工艺参数下,可通过熔融沉积3D打印技术制备出质量符合要求的彩色塑料制件。

4 结语

通过3D打印工艺参数和喷头结构对塑料制件性能和质量的影响分析可知:合适的打印温度和打印速率都对提高塑料制件的质量起到有效的促进作用,而且利用正交试验法综合优化多种工艺参数,更是一种有效提高3D打印制件性能和质量的有效手段。除此之外,喷头结构也对塑料制件的质量有着显著的影响,增加支撑结构、提高打印设备的稳定性都能够提高塑料制件的性能和质量。

参考文献

- [1] Guvendiren M, et al. ACS Biomaterials Science & Engineering, 2016, doi:10.1021 / acsbiomaterials.6b00121.
- [2] Madhavan N K, et al. Bioresource Technology, 2010, 101(22):8 493-8 501.
- [3] Tokiwa Y, et al. Environmental Conservation Engineering, 2016, 34:399-405.
- [4] Zopf D A, et al. The New England Journal of Medicine, 2013, 368 (21):2 043-2 045.
- [5] Williams J M, et al. Biomaterials, 2005, 26(23):4 817-4 827.
- [6] 李金华,等. 制造业自动化, 2014(21):94-96.
Li Jinhua, et al. Manufacturing Automation, 2014(21):94-96.
- [7] 陈雪芳,等. 苏州市职业大学学报, 2009, 20(1):17-19.
Chen Xuefang, et al. Journal of Suzhou Vocational University, 2009, 20(1):17-19.
- [8] 韩江,等. 制造技术与机床, 2016(6):139-142.
Han Jiang, et al. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2016(6):139-142.
- [9] 赖周艺. 机械工程师, 2017(7):100-102.
Lai Zhouyi. Mechanical Engineer, 2017(7):100-102.

- [10] 习武,等.塑料工业,2016,44(12):38-41.
Xi Wu, et al. China Plastics Industry, 2016, 44(12):38-41.
- [11] 刘欣灵.网络与信息,2012,26(2):30-30.
Liu Xinling. Network and Information, 2012, 26(2):30-30.
- [12] 杨亮,等.实验技术与管理,2015,32(12):89-92.
Yang Liang, et al. Experimental Technology and Management, 2015, 32(12):89-92.
- [13] 曾达幸,等.中国机械工程,2017,28(12):1420-1426.
Zeng Daxing, et al. China Mechanical Engineering, 2017, 28(12):1420-1426.
- [14] 陈海军,等.组合机床与自动化加工技术,2017(4):70-74.
Chen Haijun, et al. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2017(4):70-74.
- [15] 高艳芳,等.中国科技信息,2017(3):75-76.
Gao Yanfang, et al. China Science and Technology Information, 2017(3):75-76.
- [16] 肖亮.3D打印挤出机热力学分析及结构优化设计[D].西安:西安工程大学,2015.
Xiao Liang. Thermodynamics analysis of 3D printer head component and its structural optimization design[D]. Xi'an: Xi'an Polytechnic University, 2015.
- [17] 肖亮,等.机械制造,2014,52(7):15-18.
Xiao Liang, et al. Machinery, 2014, 52(7):15-18.
- [18] 屈晨光,等.塑料工业,2015,43(8):53-55.
Qu Chenguang, et al. China Plastics Industry, 2015, 43(8):53-55.
- [19] 吴振兴.基于FDM快速成型中支撑工艺的研究[D].沈阳:沈阳建筑大学,2014.
Wu Zhenxing. The research based on FDM rapid prototyping support technology[D]. Shenyang: Shenyang Jianzhu University, 2014.
- [20] 汪绍兴.基于PLA丝材的FDM试件机械性能分析及优化[D].大连:大连理工大学,2015.
Wang Shaoxing. Analysis and optimization of the mechanical properties for FDM specimens based on PLA filament[D]. Dalian: Dalian University of technology, 2015.
- [21] 柴宇.基于FDM的快速成型质量分析与研究[D].沈阳:沈阳建筑大学,2016.
Chai Yu. Analysis and research for quality based on FDM rapid prototyping[D]. Shenyang: Shenyang Jianzhu University, 2016.
- [22] 袁泽林,等.制造技术与机床,2016(4):21-27.
Yuan Zelin, et al. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2016(4):21-27.
- [23] 范孝良,等.中国工程机械学报,2016(6):520-524.
Fan Xiaoliang, et al. Chinese Journal of Construction Machinery, 2016(6):520-524.
- [24] 范彩霞,等.制造业自动化,2016,38(7):73-75.
Fan Caixia, et al. Manufacturing Automation, 2016, 38(7):73-75.
- [25] 徐佳.大型FDM双喷头3D打印机设计及工艺参数研究[D].秦皇岛:燕山大学,2016.
Xu Jia. Large double nozzle FDM 3D printer design and process parameters study[D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2016.
- [26] 李成.基于FDM工艺的双喷头设备开发及工艺参数研究[D].南京:南京师范大学,2014.
Li Cheng. Development of dual sprinkler equipment and process parameters based on FDM process[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2014.
- [27] 朱景峰.基于FDM技术的快速成型机设计及工艺参数优化[D].银川:宁夏大学,2016.
Zhu Jingfeng. Design of rapid prototyping machine and optimization of process parameters based on FDM technology [D]. Yinchuan: Ningxia University, 2016.
- [28] 林宇,等.机械工程师,2017(2):3-5.
Lin Yu, et al. Mechanical Engineer, 2017(2):3-5.
- [29] 汪铁丰.3D打印设备散热片结构热分析与优化设计[D].柳州:广西科技大学,2015.
Wang Tiefeng. Research on thermal analysis and optimization of 3D printing machine heat sink structure[D]. Liuzhou: Guangxi University of Science and Technology, 2015.
- [30] 杨明.FDM快速成形机的结构设计及优化研究[D].武汉:华中科技大学,2009.
Yang Ming. Structural design and optimization on FDM rapid prototyping machine[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2009.
- [31] 蔡子灏,等.黑龙江科学,2016,7(22):16-19.
Cai Zihao, et al. Heilongjiang Science, 2016, 7(22):16-19.

我国光学薄膜精密微复制技术获重大突破

经过3年科技攻关,由湖北省国防科工办和湖北航天化学技术研究所研究的光学薄膜精密微复制技术取得重大突破,成功打破国外技术垄断。据了解,光学薄膜精密微复制技术是在光学薄膜基材表面精密涂布特定配方树脂,然后在拥有特定设计纳微尺度几何结构的雕刻辊上成型的技术。其广泛应用于液晶平板显示器背光模组增亮膜和扩散膜、道路交通标识微棱镜反光膜、液晶显示器保护用防反射膜和防窥膜、裸眼3D显示功能膜以及家电用仿金属拉丝高光膜等。

这些产品附加值高,市场需求大,关键技术一直掌握在国外公司手中。湖北航天化学技术研究所先后开展了结构设计、刻印树脂配方研究和涂布工艺研究,已通过湖北省科技厅验收。湖北航天化学技术研究所相关负责人表示,他们设计出特殊表面涂层微结构,开发出特殊刻印涂层树脂配方,在光学薄膜刻印涂层背面采用防眩、防划伤或防静电处理,提高产品收益率20%以上,极大地提高了中国新材料产业链科技水平。据介绍,目前,这项技术已在重要国防项目中得到应用,申报发明专利10件。(中塑在线)