

[制造·使用·改进]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2020.04.017

# 基于数字光处理技术的多材料增材制造装置研究

张强, 张意, 胡峻铭, 杨文振, 赵军华, 刘禹

(江南大学机械工程学院, 江苏无锡 214122)

**摘要:**针对目前市场上多数增材制造设备成型加工时材料单一,成型件功能单一等缺点,课题组提出了一种低成本、基于数字化光处理技术(DLP)的多材料增材制造系统。在分析传统数字光处理技术工艺基础上,课题组设计了一种多材料线性切换装置和清理装置,并搭建相关的成型系统平台;采用LabVIEW虚拟仪器平台作为控制系统核心,编写上位机程序,Arduino做下位机运动控制,建立从机电设计到多材料工艺过程一体化策略。课题组使用商业光敏树脂应用测试,结果表明系统能够实现层厚及成型件尺寸的精确控制和打印切换功能。系统能实现多材料加工成型,打印具有一定功能性的器件。

**关键词:**增材制造;数字化光处理;多材料;线性切换;LabVIEW虚拟仪器平台

中图分类号: TG665; TH162 文献标志码: A 文章编号: 1005-2895(2020)04-0088-04

## Research on Multi-Material Additive Manufacturing Device Based on Digital Light Processing Technology

ZHANG Qiang, ZHANG Yi, HU Junming, YANG Wenzhen, ZHAO Junhua, LIU Yu

(School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

**Abstract:** In order to solve the problems of single material during processing and single function of machined parts of the additive manufacturing equipment on the market, a low-cost multi-material additive manufacturing system was designed based on digital light processing(DLP) technology. Analyzed the process of traditional DLP technology, designed multi-material linear switching device and cleaning device, and the multi-material platform was then accordingly developed. The LabVIEW virtual instrument platform was used as the core of the control system, and the upper computer program was written, the Arduino was used for the lower computer motion control, the integrated strategy from the mechanical and electrical design to the multi-material process. The results by commercial photosensitive resin verify that the system has precise control of layer thickness and  $x/y$  size and print switching capabilities. This system can realize multi-material processing and print devices with certain functions.

**Keywords:** additive manufacturing; DLP(digital light processing); multi-material; linear switching; LabVIEW

3D打印又称增材制造是从20世纪80年代末引入的快速自由成型技术。相比于传统制造方法,其在复杂结构加工等方面有独特的优势<sup>[1]</sup>。经过近几十年的发展,其技术种类已非常丰富,但是在成型精度和速度上最具有代表性的是基于光固化的增材制造技术,主要有激光固化快速成型(stereo lithography appearance, SLA)和数字化光处理(digital light processing, DLP)这2种方法<sup>[2]</sup>。SLA通过激光扫描进行固化,而DLP技术通过数字光处理器投影光机来固

化液态聚合物;DLP成型速度相比SLA更快,同时加工精细度高,成为高精度微加工成形的重要方式。

DLP技术可固化多种功能性光敏树脂材料,但是目前大多数的商用DLP成型设备在打印过程中使用单一的材料,且成型件功能单一。由于多材料3D打印技术可以通过引入不同的材料来改善所成型零件的性能,这是传统制造工艺难以实现的。因此,多材料3D打印技术具有广阔的发展前景,特别是在生物医疗<sup>[3]</sup>、智能机器人<sup>[4]</sup>及艺术创作等领域<sup>[5]</sup>。目前对于

收稿日期:2020-02-17;修回日期:2020-05-13

第一作者简介:张强(1993),男,江苏太仓人,硕士,主要研究方向为增材制造与运动控制。E-mail:stazq42@163.com

多材料成型的研究成果有:Zhou等<sup>[6]</sup>基于DLP技术设计了一种多料盒旋转槽式的系统结构,虽然能够实现多材料的成型,但是清理时间过长,加工效率低;Kowsari等<sup>[7]</sup>采用下成型技术,使用注射器添加树脂材料,有效的减少了材料的浪费,但是其使用气压去除打印平台上的残余树脂的方法只适用于低黏度树脂材料,限制了设备的应用发展;Han等<sup>[8]</sup>采用上成型技术,在封闭式料盒中动态添加和清洗固化材料,实现多材料的加工,其采用的方法难度较大,容易造成材料的浪费和固化层的污染。

针对上述问题,课题组设计了一种低成本的基于数字化光处理技术(DLP)的多材料增材制造系统。设计了一种线性切换装置和清理装置,用于多材料零件的成型,并使用LabVIEW和Arduino单片机建立控制系统,并展示了打印效果。

## 1 系统平台设计

### 1.1 设计原理

光固化成型装置有上成型和下成型2种,由于上成型在进行材料切换时难以去除材料污染,故本研究中采用下成型的设计方式。同时采用下成型也可以提高材料的利用效率。系统原理设计如图1所示,打印平台下降到料盒底部,使用投影光机进行面曝光固化,通过线性移动进行材料切换,清理装置置于2种料盒之间,在切换的过程中进行工作,最终实现混合多材料三维几何体的成型。

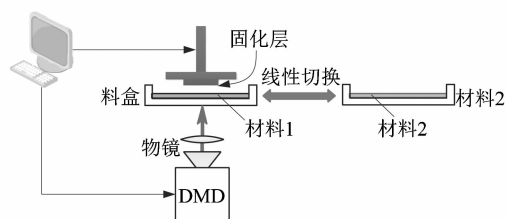


图1 多材料打印原理

Figure 1 Schematic diagram of multi-material printing system

### 1.2 系统总计设计

系统的总体结构如图2(a)所示。系统主要由光学模块、成型运动模块和控制模块组成。光学模块为基于DMD芯片及其驱动电路制成的投影光机,使用405 nm波长的紫外光源,分辨率为1 280 dpi × 800 dpi, DMD像素尺寸为7.6 μm。投影光机使用变焦物镜,装配调整后系统的成型尺寸为70 mm × 40 mm × 100 mm,成型精度0.1 mm。成型运动模块包含Y/Z

运动轴、打印平台、清理装置、料盒及其夹具。高精度面包板作为基底,直角固定座通过螺栓固定于其上,Z轴高精度滚珠丝杠模组安装在直角固定座上,悬臂梁及打印平台通过螺栓固定在Z轴移动平台上,通过驱动Z轴混和伺服步进电机带动打印平台垂直移动,导轨的重复定位精度为0.01 mm;打印平台使用铝合金材料。悬臂梁平板上开U形槽,可以很方便的调整打印平台的位置,使其能固定在料盒的正上方;开始工作前,拧紧旋钮使打印平台固定在悬臂梁上,打印完成后,可以很方便地进行拆卸及取出实体进行清洗。

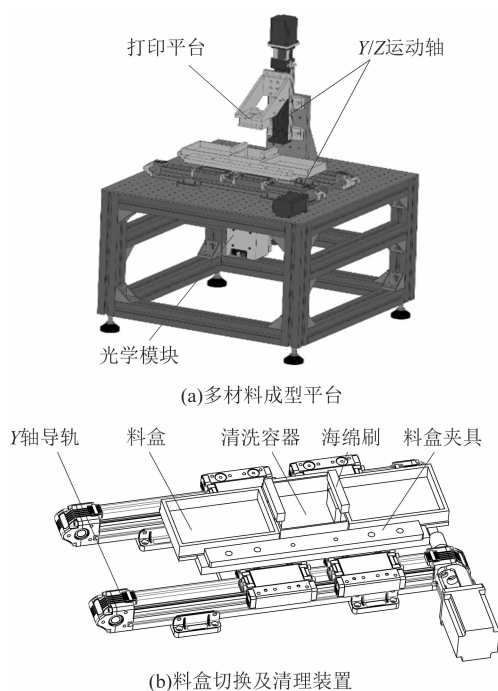


图2 系统总体结构

Figure 2 Overall structure of system

图2(b)所示为料盒及其清理装置。在Y轴导轨上装有料盒及其夹具、清洗液容器和海绵刷。料盒夹具分为定位和夹紧2部分,在安装时,将夹具主体安装在Y轴导轨上,然后加装料盒,通过细牙调平螺栓调整各料盒相对于打印平台的位置,再利用定位螺栓与Y轴导轨配合,固定夹具,最后利用固定螺栓夹紧料盒,最终实现各料盒的定位夹紧。清洗在当前固化层成型完成后,打印平台抬高,Y轴运动,经过海绵刷的擦拭,然后浸入清洗液中,静置一段时间后,再抬升打印平台,并移动Y轴,再次经过海绵刷的擦拭,随后切换到另一种材料的料盒中进行清洗,在运动的过程中进行快速切换和清理。海绵刷2侧面所清理的树脂都与相对的料盒内材料有关,一定程度上可以减少重复使用造成的材料污染。

## 2 控制系统设计

控制系统采用 LabVIEW 开发上位机程序,使用 USB 接口与下位机 Arduino 和投影光机进行通信控制。LabVIEW 采用图形化的方式编辑语言编写程序。由于图形化源代码一定程度上类似于流程图,因此它又被称为程序框图代码。使用其开发的串口通信程序简单可靠,与 Arduino 及投影光机的兼容性较好<sup>[9]</sup>。

系统控制框架如图 3 所示,LabVIEW 前面板包含运动控制、光机功率设定、成型运动启停以及成型时间估算等功能。Arduino 作为下位机运动控制中心,接收处理 LabVIEW 发送的指令,使用脉冲信号驱动 Y/Z 轴电机运动,同时接收和处理传感器信号,控制运动轴的限位运动。投影光机类似于外接屏幕,计算机通过 HDMI 接口传输曝光图像,同时通过串口通信实时控制光机的功率及开关。

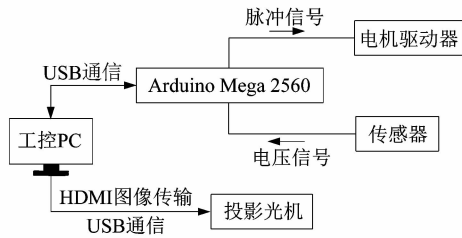


图 3 控制系统

Figure 3 Control system

## 3 实验与分析

### 3.1 实验材料

为测试所搭建系统的性能,课题组采用 Miicraft 公司生产的透明树脂和蓝色树脂作为测试材料。设定打印层厚 0.1 mm,光机功率 20 mW,透明树脂和蓝色树脂的曝光时间分别为 5 和 7 s。由于 2 种材料的主要成分相近,在实验中发现固化后其能够很好的贴合在一起。

### 3.2 成型精度测试

课题组设计了一种矩形条纹打印模型用来检测系统成型的精度,矩形长条宽度分别为 0.4,0.2,0.1 mm。检测结果如图 4 所示,Z 向成型精度很高,误差基本保持在  $\pm 5 \mu\text{m}$  以内,证明了所搭建系统能够保证成型的质量。在 X/Y 方向上,低于  $200 \mu\text{m}$  的成型效果较差,这是由于 DMD 芯片像素尺寸限制,所使用光机的 DMD 芯片的像素尺寸为  $7.6 \mu\text{m}$ ,经过物镜扩大后,像素点大小约为  $54.6 \mu\text{m}$ ,打印  $200.0 \mu\text{m}$  的矩形时,在纵向需要 4 个像素点,由于固化时多种因素的影响,难以保证固化后的尺寸,故存在一定的偏差。研究表明可以通过修改模型尺寸来改善偏差的影响。

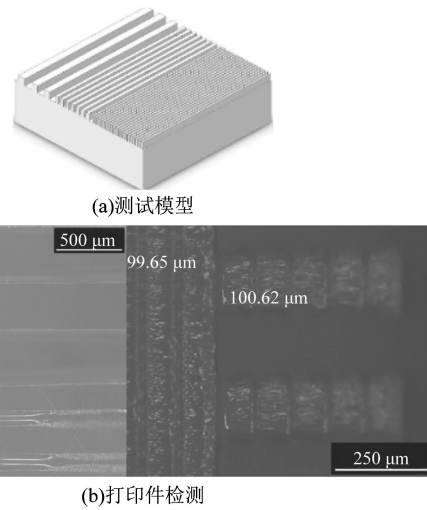


图 4 单材料打印测试

Figure 4 Printing test of single material

### 3.3 多材料成型实验

针对系统多材料成型能力的验证,同时也出于对其应用的一些研究,课题组设计实验打印一种双色浮雕图案。目前市场上 3D 打印制作的透光浮雕通过梯度成型,在光源的照射下才能凸显图案,但是颜色过于单一,且需要光源的协助,使用反衬颜色的浮雕拥有更强的立体感,同时免于使用光源辅助。

生成曝光图像的操作:将原始图片素材经过图片软件进行黑白和反色处理,形成二维图片转三维模型的原始素材,然后通过精雕模型算法处理工具对三维模型的原始素材进行处理,生成三维浮雕的 STL 模型,最后再使用切片软件处理。双色浮雕基底用透明树脂材料进行打印,雕像部分使用蓝色树脂。

成型后的样品如图 5 所示。图 5(a)所示为单材料打印浮雕,图 5(b)所示为其在光源照射下形成的图像,图 5(c)是使用透明树脂和蓝色树脂切换打印的浮雕。可以看出,多材料切换打印的样品对比单材料样品清晰度更好,并且系统能够保证高精度的成型加工。



图 5 单材料和多材料打印的浮雕样品

Figure 5 Embossed sample printed from single and multi-materials

## 4 结语

课题组研究并设计了一种基于数字光处理技术的多材料增材制造系统,采用下成型方式,设计一种线性切换装置,并且将清洗装置安装在切换装置中,在运动过程中对打印平台进行清理。采用 LabVIEW 及 Arduino 作为控制系统的核心,建立多材料成型的工艺方案,同时也降低了搭建系统的成本。最后使用商业树脂进行精度测试实验和多材料成型实验,对测试件的成型结果进行了分析,说明由于像素限制,成型件的 X/Y 尺寸要大于 200.0  $\mu\text{m}$ ,通过双色图像浮雕的打印实验,验证了系统的成型能力。注意到虽然系统拥有一定的多材料成型能力,但是在成型速度上还有待提高,进一步研究需要解决成型速度的问题。

### 参考文献:

- [1] 郭日阳. 3D 打印技术及产业前景[J]. 自动化仪表, 2015, 36(3): 5-8.
- [2] BUSETHI B, STEYRER B, LUTZER B, et al. A hybrid exposure concept for lithography-based additive manufacturing [J]. Additive Manufacturing, 2018, 21: 413-414.
- [3] LIU V A, BHATIA S N. Three-dimensional photopatterning of

hydrogels containing living cells[J]. Biomedical Microdevices, 2002, 4(4): 257-266.

- [4] JI Zhongying, YAN Changyou, YU Bo, et al. Multimaterials 3D printing for free assembly manufacturing of magnetic driving soft actuator[J]. Advanced Materials Interfaces, 2017, 4(22): 1700629.
- [5] GE Qi, SAKHAEI A H, LEE H, et al. Multimaterial 4D printing with tailorable shape memory polymers [J]. Scientific Reports, 2016, 6: 31110.
- [6] ZHOU Chi, CHEN Yong, YANG Zhigang, et al. Development of multi-material mask-image-projection-based stereolithography for the fabrication of digital materials [C]//Austin, Texas: Solid Freeform Fabrication Symposium, 2011: 65-80.
- [7] KOWSARI K, AKBARI S, WANG Dong, et al. High-efficiency high-resolution multimaterial fabrication for digital light processing-based three-dimensional printing [J]. 3D Printing and Additive Manufacturing, 2018, 5(3): 185-193.
- [8] HAN D, YANG C, FANG N X, et al. Rapid multi-material 3D printing with projection micro-stereolithography using dynamic fluidic control [J]. Additive Manufacturing, 2019, 27: 606-615.
- [9] 陈金平, 王生泽, 吴文英. 基于 LabVIEW 的串口通信数据校验和的实现方法[J]. 自动化仪表, 2008, 29(3): 35-37.

(上接第 87 页)

## 5 结论

课题组基于 ANSYS-Workbench, 对合肥中辰轻工机械有限公司研发设计的吹灌旋一体机的灌装组合机架进行有限元分析, 并根据分析结果进行结构优化, 优化后结构质量降了 120 kg 左右, 缩减了成本, 降低了能耗, 并得到以下结论:

1) 通过模态分析可以看出优化后机架在当前灌装速度下不会发生共振; 若开发更高速的灌装机械时, 有必要对振动等动力特性做进一步研究, 以保证灌装过程的稳定。

2) 通过有限元分析可知最大变形在十字结构中心处。在今后改进设计中, 可针对此处结构做适当的优化和改进, 以提高强度、减小变形。

### 参考文献:

- [1] 戴宏民. 包装机械的技术发展趋势及我国的应对[J]. 中国包装工

业, 2003(8): 17-20.

- [2] 宋奎伟, 刘勇. 吹灌旋一体机在饮料生产中的应用[J]. 酒·饮料技术装备, 2011(1): 74-76.
- [3] 车建伟. 强势发展的吹灌旋一体机; Lenze 吹灌旋一体机行业解决方案[J]. 现代包装, 2014(7): 30-30.
- [4] 陈晋. 新时期食品灌装机械技术的发展分析[J]. 工程技术研究, 2018(1): 129-130.
- [5] 彭义. 基于嵌入式的 PET 瓶吹灌旋一体机多段温度控制系统的设计与实现[D]. 广州: 广东工业大学, 2010: 26-78.
- [6] 杨伯源. 材料力学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001: 11-32.
- [7] 刘选伟, 金亮, 王景立. 基于 ANSYS Workbench 的深松机机架模态分析[J]. 农机化研究, 2015, 37(5): 29-31.
- [8] 吕廷, 石秀东, 张秋菊, 等. 基于 ANSYS 的破碎机机架模态分析[J]. 机械设计与制造, 2008(11): 99-101.
- [9] 刘伟, 高维成, 于广滨. ANSYS12.0 宝典[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010: 338-343.
- [10] 杨为, 邱清盈, 胡建军. 机械结构的理论模态分析方法[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2004, 27(6): 1-3.