

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.02.008

FDM 3D 打印机半导体制冷温控设计 及其冷却实验研究^{*}

靳一帆¹, 万 熠^{1*}, 张 冰², 任 冰¹

(1. 山东大学 机械工程学院, 高效洁净机械制造教育部重点实验室, 山东 济南 250061;
2. 山东省特种设备检验研究院, 山东 济南 250101)

摘要:针对熔融沉积(fused deposition modeling, FDM)3D 打印过程中打印大斜率小截面结构时,因散热不良引起的层错位和坍塌问题,对传统 FDM 3D 打印机 PID 温度控制方案中存在的问题进行了分析,将半导体制冷技术应用于 3D 打印过程温度控制之中,设计开发了一种功率可调型半导体制冷系统,对不同散热条件下发生层错位和坍塌问题的角度范围进行了测量和对比。研究结果表明,所设计的半导体制冷系统冷端温度最低可达 3.1℃,其热端温度可控制在 65℃以下,改善了大斜率小截面结构 3D 打印过程的散热条件;采用该制冷系统后打印试样发生层错位和坍塌的角度范围比无散热条件时发生上述问题的角度范围减小了 50%以上,比普通风冷冷却条件下发生上述问题的角度范围减小了 25%以上。

关键词:半导体制冷;熔融沉积;大斜率小截面;温度控制

中图分类号:TH166;TB61

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)02-0165-04

Temperature control with semiconductor refrigeration for FDM 3D printer and cooling experimental validation

JIN Yi-fan¹, WAN Yi¹, ZHANG Bing², REN Bing¹

(1. Key Laboratory of High-efficiency and Clean Mechanical Manufacture, School of Mechanical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China; 2. Shandong Special Equipment Inspection Institute, Jinan 250101, China)

Abstract: Aiming at solving layer displacement and collapse problem of the deep-slope and small cross-section structure caused by poor cooling condition during the fused deposition modeling (FDM) 3D printing process, the problems existing in the traditional PID temperature control method were analyzed. A power adjustable semiconductor refrigeration system was developed based on semiconductor refrigeration technology. Finally, experiment was conducted at different cooling conditions and the piece angle range of layer displacement and collapse was measured to contrast. The results indicate that the cold end of the system designed can reach as low as 3.1℃ and the temperature of hot end is controlled below 65℃, which can improve the cooling conditions, and the piece angle range of layer displacement and collapse using the designed system can be reduced by 50% than that of natural condition and by 25% than that of fan cooling.

Key words: semiconductor refrigeration; fused deposition modeling (FDM); deep-slope and small cross-section; temperature control

0 引 言

近年来,3D 打印技术发展迅速,其优势在于三维

结构的快速和自由制造,被广泛应用于新产品开发、单件小批量制造的场合^[1]。3D 打印技术是增材制造技术的通俗说法^[2],根据不同的原理,分为光固化成形、

收稿日期:2015-11-09

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51175306,51575320);山东大学基本科研业务费专项资金资助项目(2014JC020)

作者简介:靳一帆(1991-),男,河南焦作人,主要从事增材制造技术方面的研究。E-mail:18769788298@163.com

通信联系人:万熠,男,副教授,博士生导师。E-mail:wanyi@sdu.edu.cn

材料喷射、粘结剂喷射、熔融沉积制造、选择性激光烧结、片层压和定向能量沉积^[3]。其中熔融沉积(FDM)桌上型 3D 打印机因具有成本低、操作方便等优势,得到了广泛应用,但其打印精度比光固化成型、选择性激光烧结、三维打印等 3D 打印机精度低。在该类型 3D 打印技术中,影响模型精度的影响因素很多,主要有材料性能、挤出头直径、挤出头温度设定、挤出速度、分层厚度、扫描方式等。其中在打印小截面和大斜率的模型时,存在散热不良引起的堆积层坍塌问题,此时温度是影响模型能否精确成型的主要因素。文献[4]对温度场进行了有限元分析和 ANSYS 软件仿真,得到温度分布并通过热力耦合获得应力场,进而解释了发生翘曲变形的原因;文献[5]在温度场仿真的基础上,分析了散热条件对丝材粘结质量的影响,以翘曲变形量为评价指标,设计正交实验评定各个因素的影响并给出提高打印质量的措施。文献[6]通过实验方法揭示了 FDM 打印薄壁零件时产生变形的机制,并总结了减少变形量的工艺优化参数。但是,以上研究多聚焦于打印件的翘曲变形原因解释和减少变形的措施,对于小截面大斜率模型特征出现的层错位和坍塌问题研究很少。

本研究开发基于半导体制冷技术的温度控制装置并应用于 FDM 3D 打印机中,通过控制挤出头周围成型空间的温度,加强对小截面的冷却,从而获得更高的表面质量。

1 传统 FDM 3D 打印机温控方案和存在问题

传统 FDM 3D 打印机采用 PID(比例-积分-微分)控制^[7],该控制器是由比例部分 P、积分部分 I 和微分部分 D 构成,分别通过 K_p 、 K_i 和 K_d ,3 个参数的设定,由温度传感器实时反馈,将热床和挤出头加热到指定温度。其控制原理图如图 1 所示。

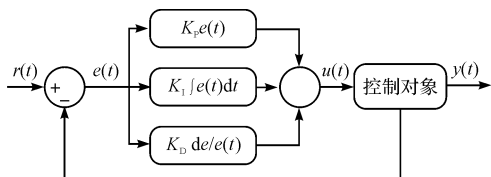


图 1 FDM 3D 打印机传统 PID 控制原理图

打印过程中,挤出头运动受 G 代码控制,其对打印件周围空气加热。在打印小截面零件时,散热时间太短,上一层打印层来不及冷却凝固,导致下一层在堆积过程中产生软化现象,随着层数增加最终发生层错

位和坍塌问题。传统温度控制方案只关注挤出头和热床的恒温控制,而且只有升温措施,没有降温补偿,因此无法解决上述问题。

2 半导体制冷系统设计与开发

2.1 半导体制冷机理

半导体制冷是一种利用珀尔帖效应进行制冷的技术,由 1834 年德国物理学家珀尔帖发现,故称为珀尔帖效应^[8]。半导体制冷的原理图如图 2 所示。

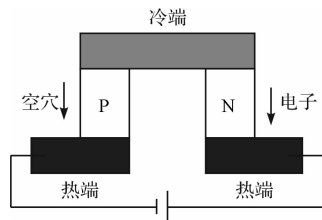


图 2 珀尔帖效应原理图

它由 P 型半导体、N 型半导体和金属板构成,当加上电压后,P 型半导体中的空穴由正极流向负极,金属板中的空穴进入 P 型半导体时势能变大,越过势垒吸热,金属板变冷;P 型半导体中的空穴进入金属板时势能变小,放出热量,金属板变热。N 型半导体载流子为电子,热量传递同理可知^[9]。

当直流电通过两种不同半导体材料串联成的电偶时,在电偶的两端即可分别吸收热量和放出热量。放热或吸热大小由电流的大小来决定^[10]。因此,通过调节输入电压可以控制热冷端温差,而影响冷端最低温度的因素较多,合理设计制冷系统的各个组成部分是关键。

2.2 制冷系统原理

系统正常工作的前提是保证热端热量能及时传递到空气或水等介质中,此时,冷端才能被用于获得较冷空气。因此,本研究采用大面积散热片和冷却风扇对热端降温,冷端采用轴流式风扇和导冷通道提供单一流向、集中截面的冷空气流。

该系统采用开环控制,温度计用于实时显示热冷端温度,通过电压调节旋钮,调节制冷功率,并根据观测温度计读数变化,增大或减小制冷片输入电压。另外,冷端导冷风扇转速调节旋钮,用于改变所获得冷空气温度。其原理与空调制冷风速调节相似,导冷风扇转速越高,获得冷端空气温度相应升高(越接近室温),反之降低。其电路原理图如图 3 所示。

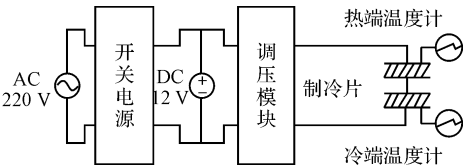


图 3 半导体制冷系统电路原理图

2.3 系统硬件和实物图

该设计采用 TEC1-12714 半导体制冷片,使用调压装置调节输出电压,从而控制热端和冷端温差,该设计中全功率制冷时,实验测得冷端温度最低可达 3.1℃,热端温度通过调节散热风扇转速控制在 65℃ 以下。所设计制冷系统所采用半导体制冷片参数如表 1 所示。

表 1 半导体制冷片参数表

名称	参数值
型号	TEC1-12714
最大电流/A	14
最大工作电压/V	15.4
最大制冷功率/W	130
最大温差/℃	67
外型尺寸/mm	62×62×3.06

温度检测采用 TES 1310 TYPE-K 型温度计,该温度计分辨率为 0.1°,反应灵敏,能够满足测温要求。采用直流轴流式风扇导冷,尺寸为 40 mm×40 mm×20 mm,转速为 7 500 RPM,排风量为 8.6 CFM,采用双联并排设计,出风口为矩形尺寸为 55 mm×20 mm。

系统实物图如图 4 所示。

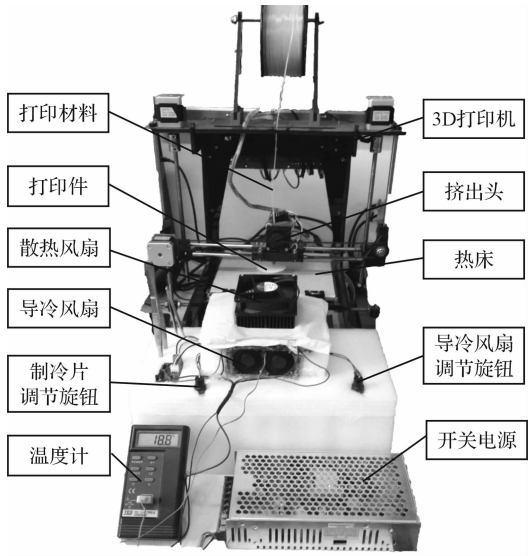


图 4 系统实物图

3 实验设计与结果分析

为研究 FDM 3D 打印过程中,打印小截面时因散热不良导致的坍塌问题,本研究使用三维建模软件设计纵截面为倒梯形打印件,并进行打印测试,打印边缘切线与水平面夹角为 30°,其他打印件尺寸参数如图 5 所示。

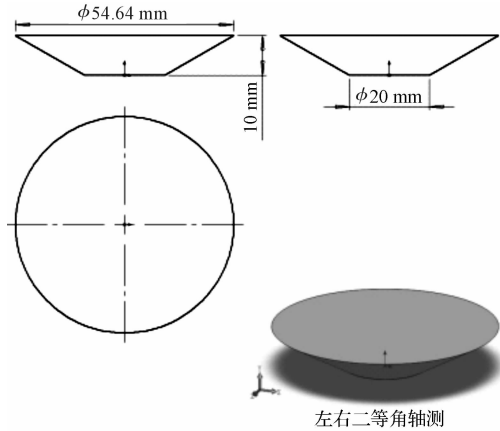


图 5 打印件尺寸参数

挤出头温度设定在在材料限定范围之内,实验中取经验值 185℃,实验时室内温度控制在 20℃,热床温度设置为 20℃,另外打印速度也会对坍塌产生一定影响。测试表明,在正常打印速度范围,该因素的影响较为稳定。

综上,本研究在对比实验中采用 30°锥角打印件,设计 3 组对比实验,控制变量为散热条件,分别采用无散热、普通风扇散热、半导体制冷散热 3 种方式,打印材料采用可降解的生物环保聚合物材料聚乳酸^[11],设置 3D 打印机参数如表 2 所示。

表 2 3D 打印机参数设置

参数名称	设定值
层厚/mm	0.2
打印速度/mm·s ⁻¹	50
挤出头直径/mm	1.0
挤出头温度/℃	185
热床温度/℃	20
填充图案	格子
填充重叠	10%
外壳厚度/mm	1
是否回抽	是
填充密度	20%
材料	聚乳酸

本研究观测并记录打印过程中发生软化现象的层数,记录发生层错位和坍塌的打印层数,打印完成后测量发生上述问题角度范围,同时记录热床温度变化。实验结果对比如图 6 所示。

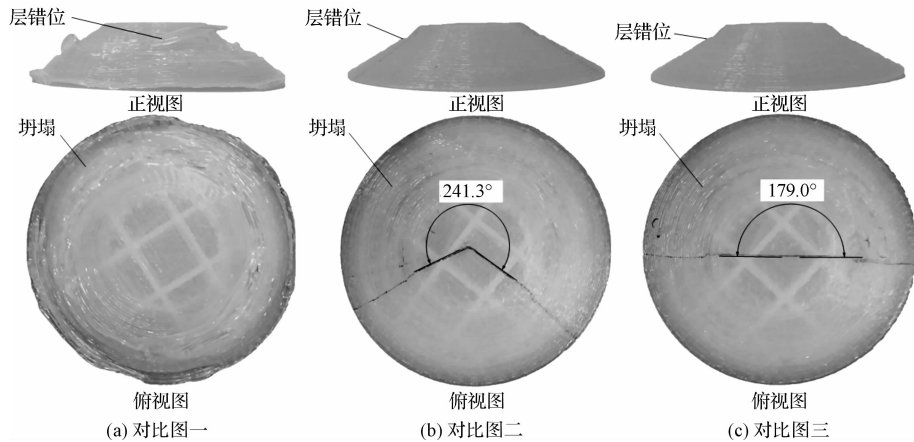


图 6 实验结果对比图

实验结果如下:

(1)图 6(a)所示的打印件为未采用散热措施,在打印第 10 层时出现软化现象,随后各层软化加剧,第 25 层出现层与层错位和坍塌,同时,热量通过工件传递给热床,将热床反向加热至 28.2°C 。另外,发生层错位和坍塌角度为 360° 。

(2)图 6(b)所示的打印件为采用普通风冷,出风口温度为 22.5°C ,出风口尺寸 $55\text{ mm} \times 20\text{ mm}$,出风口距离挤出头中心距离为 167 mm ,打印结果显示,正对于风扇出风口处散热良好,出现坍塌和层错位的角度范围约为 241° ,同时部分热量通过打印件将热床加热至 23.7°C 。

(3)图 6(c)所示的打印件采用半导体制冷系统冷却,出风口温度为 18.8°C ,出风口距离挤出头中心

距离为 167 mm ,打印结果显示,出现坍塌和层错位角度变小,约为 179° ,同时热床被反向加热至 21.2°C 。

对比 3 组实验结果,采用本研究所设计的半导体制冷系统后,打印件发生坍塌角度范围从无散热条件时 360° 减小到 179° ,减小了 50.27% ;与普通风扇冷却发生坍塌角度范围相比,从 241° 减小到 179° ,减小了 25.73% 。另外,使用该制冷系统后,热床被反向加热升温幅度最小。

某卡通人物 3D 打印对比图如图 7 所示,从图 7 可知,无散热条件出现层错位和坍塌的面积远大于采用半导体制冷系统散热的面积。另外,即使采用半导体制冷系统散热也出现上述问题。对于这种情况,可以通过增大出风口面积、降低冷风温度、提高冷风截面通风量的方法来改善效果。

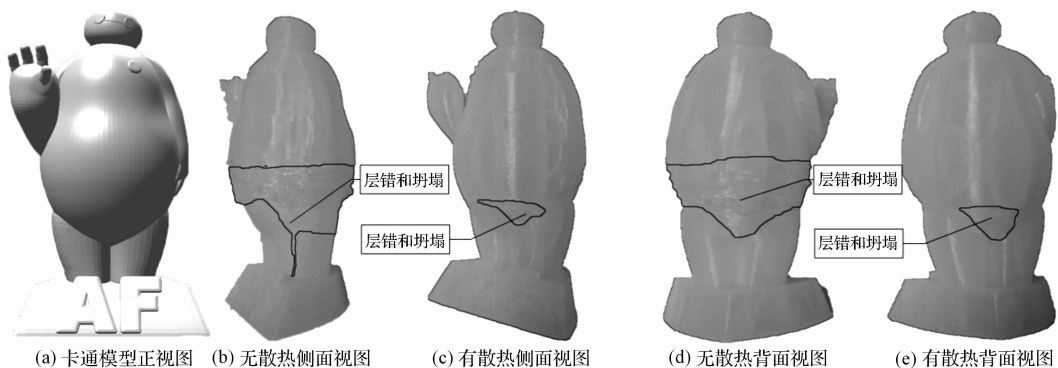


图 7 某卡通人物打印对比图

4 结束语

(1)本研究通过分析 FDM 3D 打印小截面时出现

坍塌的影响因素,从散热角度分析了出现层错位和坍塌

(下转第 216 页)

本文引用格式:

靳一帆,万 熠,张 冰,等. FDM 3D 打印机半导体制冷温控设计及其冷却实验研究[J]. 机电工程,2016,33(2):165-168,216.

JIN Yi-fan, WAN Yi, ZHANG Bing, et al. Temperature control with semiconductor refrigeration for FDM 3D printer and cooling experimental validation[J].

Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2016, 33(2): 165-168, 216.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>