

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.08.013

加热方式对 FDM 工艺制品拉伸性能的影响

杨勇,马昊鹏,焦志伟,何雪涛,党开放

(北京化工大学机电工程学院,北京 100029)

摘要: 选用 3D 打印工艺中的熔融沉积成型 (FDM) 工艺作为实验研究对象,研究恒温室加热和底板加热两种不同加热方式对不同构建取向打印的聚乳酸 (PLA) 试件拉伸强度及断裂伸长率的影响。实验结果表明:两种加热方式下打印的不同构建取向的试件呈现出各向异性。与底板加热相比,采用恒温室加热方式打印的水平向试件和侧向试件的拉伸强度分别增加 0.3% 和 2.6%,断裂伸长率分别增加 4.2% 和 6.7%,有一定程度的改善;而采用恒温室加热打印的竖向试件的拉伸强度由底板加热时的 14.94 MPa 提升至 23.98 MPa,增幅为 60.5%,断裂伸长率由底板加热时的 1.708% 提升至 2.847%,增幅为 66.7%。对于竖向高度较大的制品,采用恒温室加热可明显提高制品的拉伸性能。

关键词: 熔融沉积成型;聚乳酸;成型温度;构建取向;拉伸性能

中图分类号: TH161+.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)08-0071-04

Effects of Heating Methods on Tensile Properties of FDM Process Products

Yang Yong, Ma Haopeng, Jiao Zhiwei, He Xuetao, Dang Kaifang

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract : The fused deposition modeling (FDM) process in 3D printing process was chosen as the experimental research object, the effects of thermostatic chamber and platform heating on the tensile strength and elongation at break of polylactic acid (PLA) samples with different construction orientations were studied. The experimental results show that the PLA samples printed under the two heating modes exhibit anisotropy with different orientations. Compared with the platform heating, the tensile strength of the horizontal direction samples and the side direction samples printed by the thermostatic chamber heating method are increased by 0.3% and 2.6%, and the elongation at break are increased by 4.2% and 6.7%, respectively, the tensile properties are improved to a certain extent. The tensile strength of the vertical direction samples by thermostatic chamber heating is increased from 14.94 MPa (platform heating) to 23.98 MPa, the increase is 60.5%, the elongation at break is increased from 1.708% (platform heating) to 2.847%, the increase is 66.7%. For the products with higher vertical height, the tensile properties of the products can be obviously improved by thermostatic chamber heating.

Keywords : fused deposition molding ; polylactic acid ; molding temperature ; construction orientation ; tensile property

3D 打印,又称增材制造,是一种通过计算机辅助设计或逆向工程制造实体零件的技术^[1],被认为是近年来世界制造技术领域的一次重大突破,它是产品快速开发和柔性制造技术的结合体^[2],它结合 CAD 技术将模型离散成有限个单元,并逐层加工堆积成型^[3]。有别于传统的减材成型(车、铣、刨、磨等)和受压成型(锻造、冲压等),是一种“自下而上”的材料累加制造方法^[4]。

熔融沉积成型 (FDM) 工艺凭借其操作简单、制作过程稳定、运行系统安全可靠等优势在很多领域得到广泛应用^[5],但受其逐层堆积加工方式的影响,打印制品大多不能用作结构件^[6],最常见且对制品精度影响最严重的翘曲以及层间裂纹现象^[7],前人做过相关研究。Ö. Bayraktar 等^[8]对于 FDM 工艺中填充方式、切片厚度等参数对制品力学性能的影响进行了研究;曹师增等^[9]实验发现,对制品精度

基金项目: 宁波市产业技术创新及成果产业化重大项目 (2013B10041)

通讯作者: 焦志伟,副教授,主要研究方向为聚合物成型加工原理及设备 E-mail : jiaozw@mail.buct.edu.cn

收稿日期: 2018-05-30

引用格式: 杨勇,马昊鹏,焦志伟,等. 加热方式对 FDM 工艺制品拉伸性能的影响 [J]. 工程塑料应用, 2018, 46(8) : 71-74.

Yang Yong, Ma Haopeng, Jiao Zhiwei, et al. Effects of heating methods on tensile properties of FDM process products[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(8) : 71-74.

影响的显著程度由高到低依次为填充速度、层厚和喷嘴温度;张捷等^[10]提出提高环境温度可以改善翘曲,但没有进行充分实验论证;信丽华等^[11]筛选出影响制品翘曲的几个关键因子,但仍需要以极慢速度打印基层,时间成本高;T. Galeta等^[12]研究了不同填充结构对制品拉伸强度的影响,但没有给出很好的解决方案。

当前市场上的大多数基于FDM工艺的3D打印设备采用底板加热^[13],这种加热方式会使制品冷却不均匀,从而产生翘曲或裂纹^[14],减小层厚或降低喷头移速可以减小缺陷率^[15],但会大幅度增加打印时间。笔者采用恒温模块加热代替底板加热,实现了消除试件内部温差,从而避免翘曲现象发生,使用基于FDM工艺的3D打印设备,分别在底板加热和恒温加热两种加热方式下制备不同取向聚乳酸(PLA)材料的拉伸试件,分析环境温度场对于试件拉伸强度及断裂伸长率的影响,期望通过实验结果指导不同构建取向制品打印时环境温度的控制,进一步掌握FDM工艺参数对制品力学性能的影响。

1 实验部分

1.1 原材料

PLA丝材:直径为1.75 mm,珠海天威飞马打印耗材有限公司。

1.2 主要设备及仪器

3D打印机:CoLiDo 1.0 Plus型,珠海天威飞马打印耗材有限公司;

高绝热保温棉:导热系数为0.034 W/(m·K),嘉兴科林斯电器科技有限公司;

数显恒温加热模块:200 mm×200 mm,深圳宏鑫电热科技有限公司;

万能材料试验机:5966型,美国Instron公司。

1.3 试件制备

(1) 试件构建取向的选择。

首先用Creo 2.0软件绘制拉伸试件的三维模型,输出保存为STL格式文件,然后在Print-Rite CoLiDo Repetier Host软件中打开并设置相关打印参数:层厚0.3 mm,填充率100%,喷头温度205℃,打印速度100 mm/s,打印路径为始末层采用±45°填充,中间部分采用90°正交填充。试件构建取向设置为水平向、侧向和竖向,如图1所示。

(2) 底板加热方式制备试件。

使用底板加热,温度设置为70℃,其它参数保持不变,分别按水平向、侧向和竖向三个取向切片

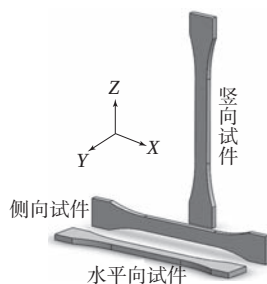


图1 试样构建取向

并保存为GCO格式文件,使用3D打印机制备PLA材料标准拉伸试件,每个取向打印4个试件。

(3) 恒温加热方式制备试件。

在3D打印机外部贴装高绝热保温棉保温层,将恒温控制模块安装在成型室内部,其它参数保持不变,底板温度设置为0℃,重新沿三个取向切片并保存GCO文件,开启恒温控制模块,温度设置为70℃,加热完成后3D打印机读取新切片代码工作,每个取向打印4个试件。

1.4 性能测试

按照GB/T 1040.2-2006测试试件的拉伸性能,拉伸速率为5 mm/min,引伸计标距为50 mm。

2 结果与讨论

2.1 加热方式对拉伸强度的影响

图2是PLA在底板加热和恒温加热两种条件下,分别按照水平向、侧向和竖向构建取向试件的拉伸强度。

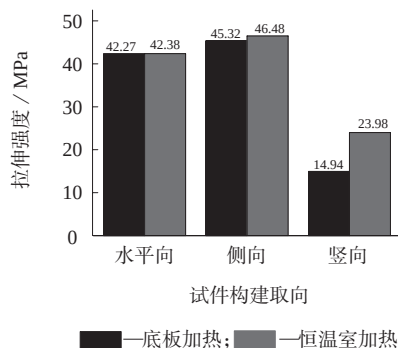


图2 两种加热方式下三种构建取向PLA试件的拉伸强度

由图2可以看出,采用底板加热方式打印的水平向、侧向试件的拉伸强度分别为42.27 MPa和45.32 MPa;采用恒温加热方式,打印的水平向、侧向试件的拉伸强度分别为42.38 MPa和46.48 MPa,较底板加热时分别增大0.3%和2.6%;采用底板加热方式打印的竖向试件的拉伸强度为14.94 MPa,仅为水平向试件的35.3%,侧向试件的33.0%,而恒温加热方式下打印的竖向试件的拉伸

强度为 23.98 MPa,较底板加热方式提高了 60.5%。

对于上述现象,可从对试件打印的环境温度场得到解释,采用底板加热方式时,底板处的环境温度为最高,沿底板法线方向的温度逐渐降低,随着高度的增加,温度差值增大,挤出熔体的固化速率加快,层间连接紧密性不断减小,从而影响打印试件沿底板法线方向的性能。采用恒温室加热方式时,环境中各点的温度皆为 70℃,可以消除温差影响,使试件纵向的成型质量均一。对于三种不同构建取向的试件,采用底板加热方式打印的水平向试件的高度最小,采用底板加热时几乎等同于恒温环境,故两种加热方式下打印试件的拉伸强度差别较小;采用底板加热方式打印的侧向试件具有一定的高度,随着高度的增加会出现一定的温度差,影响层间连接的紧密性,试件的性能受到一定程度的影响,故采用恒温室加热方式打印的侧向试件的拉伸强度较底板加热略有增大;采用底板加热方式打印的竖向试件的高度最高,温差明显,层间共熔部分随着高度的增加逐渐减少,连接紧密性也随着高度的增加而减小。采用恒温室加热方式打印的竖向试件的层间温差为 0℃,层间共熔部分大于底板加热方式,试件的成型质量明显增加,竖向试件的拉伸强度受温度梯度的影响明显减小。因打印的竖向试件进行拉伸测试的受力方向与堆叠方向相同,层间连接强度直接决定拉伸强度,因此采用恒温室加热方式打印的竖向试件的拉伸强度较底板加热试件提高了 60.5%。

从图 2 还可以看出,两种加热方式下所打印试件的拉伸强度均表现为:侧向试件>水平向试件>竖向试件,该现象说明试件的拉伸强度受构建取向的影响,存在各向异性的特点。该现象可通过分析实际切片截面得到解释,如图 3 所示,侧向试件的外层壳体体积占比大于水平向试件,由于打印外壳时喷头移动速度慢,层间结合度高,较之内层填充更为致密,故壳体体积占比大的试件其拉强度也相应增大。竖向试件的拉伸强度远远低于水平向试件和侧向试件。这是由于竖向试件的纤维分布垂直于堆叠

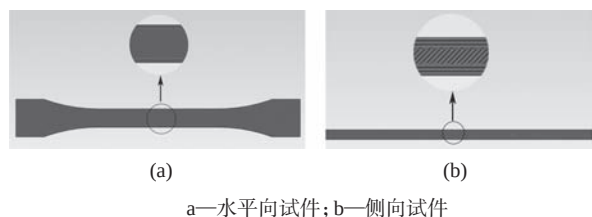


图 3 试件切片截面及局部放大图

方向,纤维本身对拉伸性能几乎没有影响,主要依靠各层之间纤维共熔所提供的粘结力抵抗拉力,相较于水平向试件和侧向试件的纤维分布平行于拉伸方向,拉伸强度显然会有较大差距。

2.2 加热方式对断裂伸长率的影响

图 4 是 PLA 在底板加热和恒温室加热两种条件下,分别按照水平向、侧向和竖向构建取向试件的断裂伸长率。由图 4 可以看出,两种加热方式下所打印试件的断裂伸长率均表现为:侧向试件>水平向试件>竖向试件。采用恒温室加热方式打印的水平向试件和侧向试件的断裂伸长率分别为 5.883% 和 6.074%,略大于底板加热方式的 5.647% 和 5.695%,分别增加 4.2% 和 6.7%。采用恒温室加热方式打印的竖向试件的断裂伸长率为 2.847%,相比底板加热的 1.708%,增幅达到 66.7%。

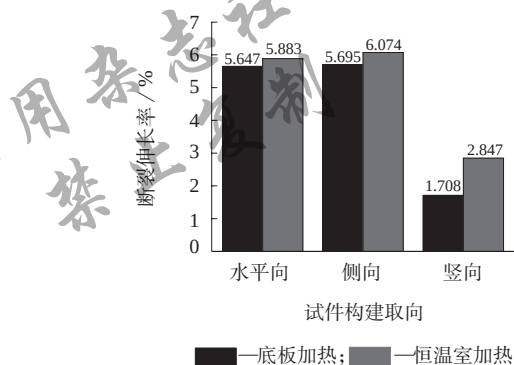


图 4 两种加热方式下两种构建取向 PLA 试件的断裂伸长率

对水平向、侧向两种构建取向打印的试件,其断裂伸长率由沿拉伸方向的纤维数量及纤维之间的连接紧密性决定,由于两种取向试件的体积相同,填充方式也相同,故纤维数目相同。由图 3 分析可知,侧向试件的外壳厚度大于水平向试件,故侧向试件沿拉伸方向上的纤维结合质量高,其断裂伸长率相应大于水平向试件。而竖向试件的取向为沿底板法线的方向,其断裂伸长率与纤维数目无关,仅受层间材料连接紧密性影响,采用恒温加热方式,温度不会随着高度的增加而降低,故相较于底板加热,试件的层间共熔部分大,连接更紧密,整体性更好,故断裂伸长率有较大程度的增加。

3 结论

(1) 基于 FDM 工艺,在底板加热和恒温室加热两种条件下打印试件,不同构建取向 PLA 试件的拉伸强度和断裂伸长率不同,试件表现出各向异性。但两种加热方式下所打印试件的拉伸强度和断裂伸长率均表现为:侧向试件>水平向试件>竖向试件。

(2) 基于 FDM 工艺,采用恒温室加热方式打印的水平向试件和侧向试件的拉伸强度与断裂伸长率相比于底板加热有一定程度改善;但两种加热方式对竖向试件拉伸强度与断裂伸长率的影响较大,采用恒温室加热方式打印的竖向试件的拉伸强度和断裂伸长率相比于底板加热,增幅达到 60.5% 和 66.7%。

(3) 对于竖向高度较大的试件,采用恒温室加热方式可以明显提高试件的拉伸强度和断裂伸长率。

参考文献

- [1] 高士友,黎宇航,周野飞,等. 熔融沉积 (FDM) 3D 打印成形件的力学性能实验研究 [J]. 塑性工程学报, 2017, 24(1):200-206.
Gao Shiyu, Li Yuhang, Zhou Yefei, et al. Mechanical properties experiment of 3D printing forming specimens with fused deposition modeling (FDM)[J]. Journal of Plasticity Engineering, 2017, 24(1):200-206.
- [2] 王雪莹. 3D 打印技术与产业的发展及前景分析 [J]. 中国高新技术企业, 2012(9):3-5.
Wang Xueying. The development and prospect analysis of 3D printing technology and industry[J]. China High Technology Enterprises, 2012(9):3-5.
- [3] 卢秉恒,李涤尘. 增材制造 (3D 打印) 技术发展 [J]. 机械制造与自动化, 2013, 42(4):1-4.
Lu Bingheng, Li Dichen. Development of the additive manufacturing (3d printing) technology[J]. Mechanical Building and Automation, 2013, 42(4):1-4.
- [4] 李涤尘,田小永,王永信,等. 增材制造技术的发展 [J]. 电加工与模具, 2012(S1):20-22.
Li Dichen, Tian Xiaoyong, Wang Yongxin, et al. Developments of additive manufacturing technology[J]. Electromachining & Mould, 2012(S1):20-22.
- [5] 程巧军. 基于 FDM 技术金属零件翘曲变形问题分析与优化 [J]. 世界有色金属. 2017(9):88,90.
Cheng Qiaojun. Analysis and optimization of warpage of metal parts based on FDM Technology[J]. World Nonferrous Metal, 2017(9):88,90.
- [6] 张辉,张志永,潘爱琼. 基于 FDM 的 3D 打印 PLA 层间黏结机制及质量分析 [J]. 先进制造技术, 2017, 34(3):43-46.
Zhang Hui, Zhang Zhiyong, Pan Aiqiong. Adhesion mechanism and quality analysis among PLA of 3D printing based on FDM[J]. Group Technology & Production Modernization, 2017, 34(3):43-46.
- [7] 刘新宇,张乔石,赵凌峰,等. 3D 打印精度影响及翘曲成因的分析与优化 [J]. 科技创业月刊, 2016(11):114-115, 118.
Liu Xinyu, Zhang Qiaoshi, Zhao Lingfeng, et al. Analysis and optimization of the influence of 3D printing accuracy and causes of warpage[J]. Pioneering with Science & Technology Monthly, 2016, (11):114-115, 118.
- [8] Bayraktar Ö, Uzun G, Çakiroğlu R, et al. Experimental study on the 3D-printed plastic parts and predicting the mechanical properties using artificial neural networks[J]. Polymers Advanced Technologies, 2017, 28:1 044-1 051.
- [9] 曹师增,宋发成,刘元义,等. 基于 FDM 的 3D 打印翘曲变形优化研究 [J]. 塑料工业, 2017, 45(10):51-54.
Cao Shizeng, Song Facheng, Liu Yuanyi, et al. Research on optimization of warpage deformation of 3D printing based on FDM[J]. China Plastics Industry, 2017, 45(10):51-54.
- [10] 张捷,顾海,李彬,等. FDM 工艺零件翘曲变形分析及实验研究 [J]. 制造业自动化, 2017, 39(8):52-54.
Zhang Jie, Gu Hai, Li Bin, et al. The analysis and experimental research for warp deformation in FDM process[J]. Manufacturing Automation, 2017, 39(8):52-54.
- [11] 信丽华,徐滕岗. 应用 DOE 方法分析和优化 3D 打印零件的翘曲变形量 [J]. 东华大学学报:自然科学版, 2017, 43(4):579-584.
Xin Lihua, Xu Tenggang. Analysis and optimization of the warpage deformation of three dimensional printing parts by DOE method[J]. Journal of Donghua University:Natural Science Edition, 2017, 43(4):579-584.
- [12] Galeta T, Raos P, Stojšić J, et al. Influence of structure on mechanical properties of 3D printed objects[J]. Procedia Engineering, 2016, 149:100-104.
- [13] 张泽磊,张伟,傅骏,等. 基础参数对 FDM 工艺过程的影响 [J]. 现代制造技术与装备, 2017(7):80-82.
Zhang Zelei, Zhang Wei, Fu Jun, et al. Influence of basic parameter on FDM process[J]. Modern Manufacturing Technology and Equipment, 2017(7):80-82.
- [14] 文成,徐少华,安芬菊,等. FDM 三维成型样品缺陷的工艺分析与研究工艺与检测 [J]. 制造技术与机床, 2017(5):116-120.
Wen Cheng, Xu Shaohua, An Fenju, et al. Process analysis and research on defects of the samples in FDM 3D molding[J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2017(5):116-120.
- [15] 胡碧康,周丽红. FDM 3D 打印件缺陷产生原因及处理方法的研究 [J]. 理论探究, 2017(6):37-38.
Hu Bikang, Zhou Lihong. Study on the causes and treatments of defects in FDM 3D printed parts[J]. Theoretical Research, 2017(6):37-38.

(上接第 62 页)

Composites, 2016, 33(11):32-38.

- [14] 徐淑权,蔡建,秦旭峰,等. 液晶环氧树脂改性 E-51 树脂体系流变特性研究 [J]. 热固性树脂, 2015, 30(2):1-6.
Xu Shuquan, Cai Jian, Qin Xufeng, et al. Study on the rheological

properties of liquid-crystalline epoxy resin modified E-51 resin system[J]. Thermosetting Resin, 2015, 30(2):1-6.

- [15] Roller M B. Characterization of the time-temperature-viscosity behavior of curing B-staged epoxy resin[J]. Polymer Engineering & Science, 2010, 15(6):406-414.