

基于工业级FDM设备随行拍打结构设计

任娟娟, 眭晓蔚, 李超, 沈明明, 王潇

西安增材制造国家研究院有限公司 陕西西安 710117

摘要: 针对工业级FDM高端装备制造过程中遇到的表面缺陷问题, 提出一种随行拍打系统结构, 旨在材料熔覆过程中“逐线、逐层”对样件成型过程进行控制。利用多体动力学在试验前对拍打结构进行仿真验证, 评估拍打运行稳定性和设计的合理性。利用ABAQUS/Explicit方法分析并计算成型样件的拍打力和变形位移, 为打印件的表面成型和机械性能控制提供建议, 对于获得良好的模型打印效果有一定的参考意义。

关键词: 工业FDM; 随行拍打结构; 多体动力学; 有限元分析



工程师 任娟娟

1 序言

熔融沉积成型(FDM)打印技术是目前使用最广泛的3D打印技术之一, 在全球有大量的安装基础和受众人群, 该技术广泛应用于航空航天、汽车、医疗和文创教育等领域^[1-3]。随着增材技术的快速发展, 桌面级、大型的工业FDM设备在市场中受到越来越多的关注, 同时也带来了新的技术难题和挑战^[4-7]。针对成型件的表面缺陷问题, 如褶皱、塌陷、模型脱落、层间错位、拉丝和台阶等现象愈发明显, 急需一种有效方法在打印过程中时时控制或减少缺陷, 提高样件的表面质量和性能。

目前, 国内很多研究主要通过优化工艺参数和打印路径等获取性能良好的打印制件。孙保燕等^[8]

主要研究挤出成型温度、层厚、挤出速度和填充密度等因素对拉丝现象的影响, 得到了最优工艺参数组合。惠记庄等^[9]采用回归设计试验与响应曲面法相结合的方式研究了打印速度、喷嘴温度、走线宽度以及两两之间的交互作用对表面粗糙度的影响。黄志鹏^[10]提出了一种自适应分层方法和局部路径规划算法, 可以根据模型的复杂度和打印速度自动调整分层的厚度和方向, 能够显著提高打印质量。同时, 3D打印的表面处理方法如打磨、表面融化、表面涂层、化学抛光和磨料流加工等, 也可以有效提高打印的模型品质和机械性能^[11]。综上所述, 通过调整工艺和后处理方法可以在成型前后改善样件质量, 却未在打印中对成型过程进行控制。

本文基于工业级FDM 装备样件表面成型差的问题, 提出一种随行拍打系统结构, 利用多体动力学和有限元分析的方法对结构进行验证和预测, 为机构管理系统的设计提供参考。

2 随行拍打系统结构

2.1 设计原理

理论上, 随行拍打系统结构是为控制成型件表面质量提供的一种创新思路, 依靠在FDM装备打印头上安装随行拍打装置, 跟随打印头沿规划路径在熔覆过程中逐层对样件表面进行拍打, 及时处理由打印材料快速融化产生的气孔、夹杂和飞溅等缺陷。同时, 拍打也可以减少热量的损失, 降低表面

的应力集中，增加结构内部的致密度，使其时刻保持表面平整度和光滑度，为下一层的堆积做好准备。

考虑在3D打印中对成型过程进行控制，拍打系统的设计和运行需要考虑以下几个方面。

1) 随行装置安装在打印头上，并随打印头沿规划路径轨迹运动，从而控制其性能，并创造出致密表面，从源头上减少缺陷、提高表面质量，最大程度减小成型件的变形量。

2) 整体体积不能太大，简单易控，不影响打印腔成型空间，防止与加热、挤出等机构产生机械干涉。

3) 为保证作用效果，拍打结构与工作平台需保持合适距离，防止拍打无效或拍打不均匀。

2.2 模型建立

基于上述需求，本文设计的拍打系统主要由电机驱动装置、拍打固定支架、拍打板、限位板和传送轴5部分构成，三维简化模型如图1所示。其中，步进电机驱动转轴带动拍打板进行上下循环移动，起到随行拍打样件的作用。限位板控制拍打板在其他方向产生摆动，避免运行过程中产生抖动而影响拍打的稳定性。整个拍打系统通过固定支架安装在螺杆挤出的打印头位置，打印头喷嘴穿过拍打板中间位置。

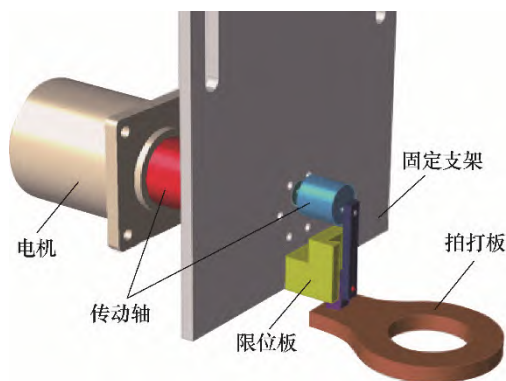


图1 拍打系统结构三维模型

3 随行拍打机构多体动力学分析

将上述拍打结构的三维模型以X-t格式导入多体动力学软件中，根据系统实际各部件的联接和约束关系施加约束副，使多体动力学模型的运动和受力形式符合设计需求。

本次分析中，将联接件属性设置由柔性改为刚

性，联接件受力随时间变化曲线如图2所示，电机扭矩随时间变化曲线如图3所示，单次行程内拍打板各方向位移变化见表1。

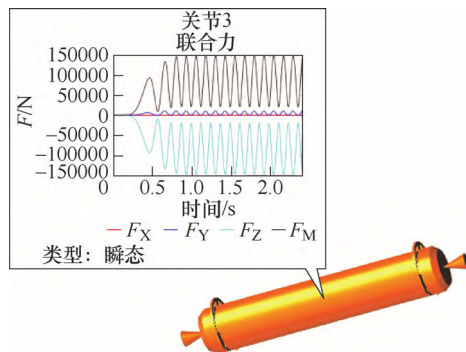


图2 联接件受力随时间变化曲线

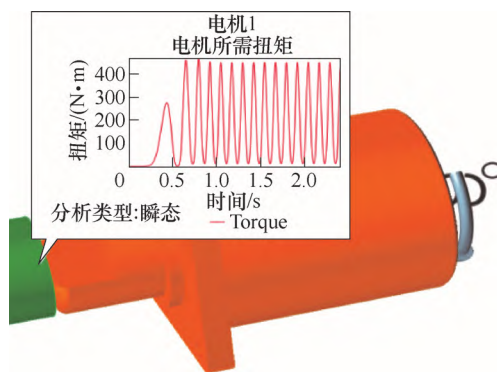


图3 电机扭矩随时间变化曲线

表1 拍打板拍打过程位移变化

时间/s	刚性组X/mm	刚性组Y/mm	刚性组Z/mm	刚性组MAG/mm
0	-1386.904538	143.4792723	405.8179227	1452.163450
0.01	-1386.904538	143.4729074	405.8177163	1452.162764
0.02	-1386.904538	143.4542280	405.8171266	1452.160754
0.03	-1386.904538	143.4236386	405.8162121	1452.157477
0.04	-1386.904538	143.3819392	405.8150683	1452.153039
0.05	-1386.904538	143.3302212	405.8138143	1452.147583
0.06	-1386.904538	143.2698389	405.8125808	1452.141280
0.07	-1386.904538	143.2023749	405.8114963	1452.134322
0.08	-1386.904538	143.1295985	405.8106740	1452.126917
0.09	-1386.904538	143.0534197	405.8101995	1452.119278
0.10	-1386.904538	142.9758382	405.8101224	1452.111616

通过上述的多体仿真分析，得到电机最大扭矩为450N·m，联接件最大受力为150000N。Z轴（拍打方向）最大行程为直接连接的传动轴的直径5mm，其他方向没有摆动。结果表明，在系统机构运行过程中没有出现干涉和部件“飞脱”等现象，该拍打系统结构设计合理，可以获得所需运动。

4 随行拍打过程有限元分析

增材制造过程中经历多次熔化、凝固过程，存在较大的热梯度，会产生较大凝固残余应力并造成部件变形、开裂等问题。在拍打过程中，机构做往复运动，拍打速度和拍打力大小很难控制，有必要对拍打过程进一步研究。

本文利用ABAQUS/ Explicit准静态方法分析拍打成型件的变化过程，有限元模型包括上述的拍打系统结构和简化成型样件模型，样件尺寸为100mm×100mm×10mm。拍打系统分析有限元模型如图4所示，单元类型选择C3D4，成型样件网格基本尺寸为1mm，网格加密以提高变形分析的收敛性。

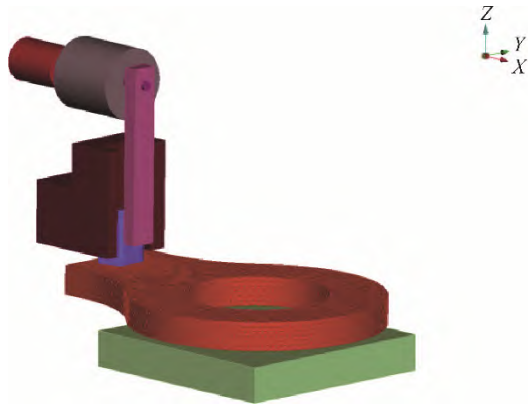
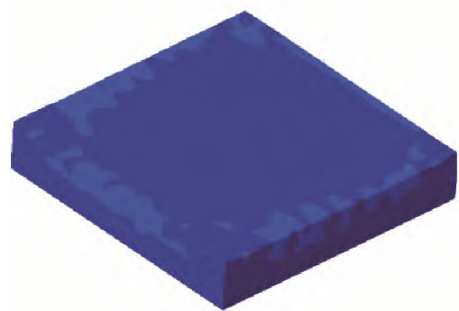
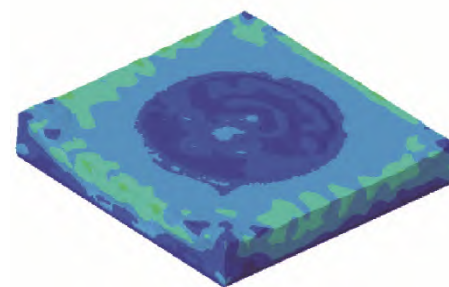


图4 拍打系统有限元模型

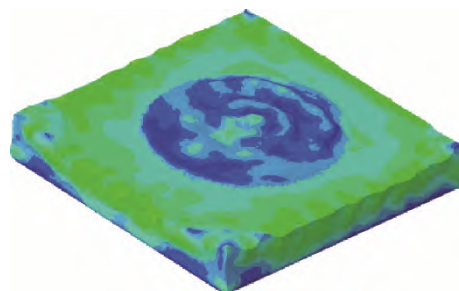
本文中材料选择ABS颗粒料进行分析，初始熔化材料呈粘流态，利用高弹性本构参数进行模拟。软件中参数定义为：超弹性，多项式，模量=长期， $N=1$ ， $C1=0.25$ ， $C2=0.35$ ， $C3=0$ 。同时，将拍打机构各部件设为刚性体，预设场中电机转轴位置施加旋转角速度，通过这样的处理可以有效提高模型的运算效率。成型样件底部约束X、Y、Z3个方向的移动和转动，试验中电机旋转速度为900r/min，拍打时间为0.2s/次。按上述参数计算得到成型样件变形过程如图5所示，不同时刻对应的拍打力见表2。



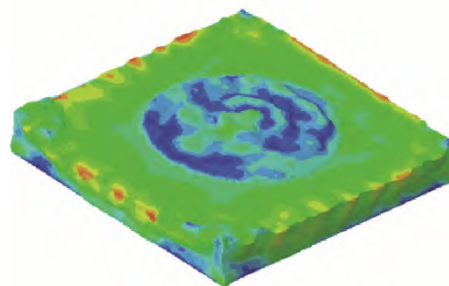
a) $t=0.05s$



b) $t=0.10s$



c) $t=0.15s$



d) $t=0.20s$

图5 拍打过程样件不同时刻变形状况

表2 拍打成型件仿真结果

电机旋转速度/ (r/min)	时间/s	变形量/mm	最大拍打力/N
900	0.05	0.6	0.8
	0.10	1.1	1.19
	0.15	1.9	3.65
	0.20	2.5	4.9

仿真结果表明,从最高点运动到最低点的过程中,拍打部件与成型件之间的支反力一直在不断变化,支反力大小与拍打时间、转速以及接触的材料有关。当电机转速为900r/min时,计算得到最大变形量为2.5mm,产生的拍打力约为4.9N。

5 结束语

利用多体动力学对拍打结构机械运动进行仿真验证,说明设计的可行性和拍打运行的稳定性,为机构的结构设计提供建设性意见。若无干涉和部件“飞脱”等现象,则该拍打系统结构设计合理。

采用ABAQUS/Explicit方法分析并计算成型样件的拍打力和变形量。高弹性本构模型可以较好地模拟粘流态的ABS材料,当电机转速为900r/min时,计算得到最大变形量为2.5mm,产生的拍打力为4.9N。

随行拍打结构从本质上改变了材料的内部结构,是快速成型和低成本制造的有效控制装置。拍打效果需结合不同工艺和材料进一步研究。

参考文献:

[1] 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.
[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(26):3-5.
[3] 杨恩泉.3D打印技术对航空制造业发展的影响[J].航

空科学技术,2013(1):13-17.

[4] 唐通鸣,张政,邓佳文,等.基于FDM的3D打印技术研究现状与发展趋势[J].化工新型材料,2015,43(6):228-230,234.
[5] 朱金龙,赵寒涛,吴冈.大幅面工业级熔融沉积式FDM 3D打印机[J].自动化技术与应用,2016,35(1):115-118.
[6] 赵天婵,黄海.基于3D打印的熔融沉积快速成型工艺若干问题研究[J].机械工程师,2016(4):22-23.
[7] 龚运息,陈晨,夏名祥,等.FDM 3D打印模型表面阶梯效应的分析[J].制造技术与机床,2016(4):27-30.
[8] 孙保燕,黄邦伟,张小可,等.FDM工艺参数对拉丝现象的影响[J].制造技术与机床,2020(12):64-68.
[9] 惠记庄,黄健,吕景祥,等.响应曲面法3D打印制作表面质量的实验研究[J].实验研究与探索,2022,41(1):41-46.
[10] 黄志鹏.基于FDM技术的3D打印分层及路径规划的研究[D].浙江:杭州电子科技大学,2022.
[11] 侯高雁,朱红,刘凯,等.3D打印成形件后处理工艺综述[J].信息记录材料,2017,18(7):19-21.

MW 20240424

(上接第6页)

表1 空工装类比分析表

空工位	A	B	C	D	E	F	G
样式	铸造式	焊接式	焊接式	铸造+组装	焊接+组装	工艺方案	组装
用途	专用	专用	专用	通用	通用	可以减少1套通用空工位工装或n套专用空工位工装	通用
质量/kg	1500~5500	200~500	30~100	3500~6900	150~260		300~400
占地面积/m ²	9n	9n	9n	9	4.5		9
周期/天	100	70	40	100	50	150	60
成本/元	60000n	6000n	2000n	90000	30000	250000	350000

注:n表示空工位工装套数

最大化利用。

参考文献:

[1] 李欢迎,赵明辉.浅谈冲压件拉伤的原因及解决措施[J].模具制造,2017,17(4):82-84.
[2] 李欢迎.浅谈冲压模具的实型评审[J].锻造与冲压,2020(14):57-60.

[3] 李欢迎.全景天窗顶盖外板废料收集方案研讨[J].锻造与冲压,2021(4):42-45.
[4] 李欢迎.轿车四门精度控制方案[J].汽车工艺师,2017(11):59-60.
[5] 李欢迎,刘少贤,崔金鑫.冷冲压模具风险评估研究[J].模具制造,2022,22(12):1-6.

MW 20240428