

基于增材制造工艺的机械臂三轴座 V 法成形

左春林, 董选普, 林少凯

(华中科技大学材料成形与模具技术国家重点实验室, 湖北武汉 430074)

摘要: 通过熔融沉积成形工艺打印了铝合金机械臂三轴座造型外模模样, 通过3DP(三维快速印刷成形)工艺打印了机械臂三轴座铸型砂芯。分析了造型外模模具的尺寸精度与表面粗糙度、砂芯的强度等工艺参数。将造型外模模具与砂芯用于V法造型铝合金浇注。结果表明: 机械臂三轴座造型外模模具线收缩为0.301%, 体积收缩率为1.121%, 铸型砂芯24 h抗拉强度为1.424 MPa, 机械臂三轴座铸件线收缩为0.342%, 体积收缩率为1.253%, 表面粗糙度为3.314 μm , 满足铸件质量要求。

关键词: 熔融沉积成形; 3DP; V法造型; 机械臂三轴座

V法铸造是通过真空和薄膜使干砂“粘结”成形, 与一般砂型铸造相比, V法铸造能够得到表面光洁、尺寸精度高的铸件^[1]。V法铸件的表面质量和尺寸精度除工艺特点外, 还受模样影响。V法造型外模模具同传统砂型铸造模具相比具有其独特性, 具体表现在: ①V法模具需在转角处、曲面处等覆膜困难的地方开设通气孔, 以保证覆膜完整; ②V法模具在造型过程中既受型砂自身重力的作用又受型砂因真空度而产生的挤压力的作用, 因此, 模具的强度要求更高; ③V法造型过程中有烤膜工序, 因此, 模样还必须具备较高的耐热性。目前, V法模具主要由木材通过数控加工得到^[2], 但木模加工周期长, 加工成本高, 对工人技术熟练度要求较高, 模具受环境温度影响较大, 尺寸精度(尤其对大型模具)难以长期保证, 模样的通气孔位置受模样复杂程度制约, 而且木模不可回收, 需较大空间。因此, 本研究采用FDM工艺打印V法造型外模模样以解决上述问题。

增材制造技术是通过零件CAD模型数据采用逐层堆积材料的方法制造实体零件的技术^[3], 凭借高效率、低成本制造复杂结构零件的优势而广泛应用于航空航天、汽车、机械、生物医疗、艺术设计等领域^[4-5]。本研究选择其中两种技术: FDM(熔融沉积成形)工艺和3DP(三维快速打印成形)工艺, 结合V法造型工艺铸造成形铝合金机械臂三轴座零件。

FDM技术属于3D打印技术中的一种, 工作原理为丝状打印耗材(PLA、ABS、蜡等)经送丝机构被送进打印头, 在打印头内被加热熔融(加热温度根据耗材熔融温度调节), 打印头沿着零件每层外轮廓与填充部分行进, 并挤出熔融耗材沉积于前一层零件上或工作台表面, 通过层层沉积、凝固、冷却, 最后形成零件^[6]。FDM工艺凭借其成本低、加工周期短、无污染的特点^[7]在零件原型快速制造^[8]与模具成形方面已获得成功的应用^[9]。本研究所用FDM设备工作原理如图1所示^[4]。3DP工艺的工作原理如图2所示^[8]。系统在工作台表面铺一层混有固化剂的型(芯)砂, 砂型(芯)三维模型以STL格式导入与3DP打印设备相连的计算机, 喷墨打印头根据计算机截取三维模型的截面形状在粉床上选择性地喷出粘结剂(本研究用粘结剂为呋喃树脂), 粘结剂与固化剂反应, 形成截面。工作台平面下降一定层厚(0.2~0.4 mm, 本研究打印层厚为0.3 mm), 系统重复铺砂、喷粘结剂、下降层厚工序, 这样层层堆叠, 最后打印出设计的砂型(芯)^[10]。与SLS(选择性激光烧结)成形砂型(芯)相比, 3DP工艺具有成形速度快^[11]、无热应力残余^[12]、设备成本低等优势。因此, 3DP工艺在砂型

作者简介:

左春林(1991-), 男, 硕士, 研究方向为液态金属精密成形。电话: 18771069130, E-mail: zuochunlin0118@163.com

通讯作者:

董选普, 男, 教授。电话: 13037116051, E-mail: dongxp@hust.edu.cn

中图分类号: TG249

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2020)02-0191-05

收稿日期:

2019-01-30 收到初稿,
2019-11-06 收到修订稿。

(芯)成形的应用上具有广阔的前景^[13]。

1 试验材料与方法

FDM打印材料选择目前使用较为普遍的PLA(聚乳酸),性能如表1所示^[14],FDM设备为A公司的Z-603S FDM3D打印机。3DP打印砂芯所用成形材料配比如表2所示,设备为B公司的HX-300-I型3DP砂型打印机。根据文献[15-16],本研究铝合金机械臂三轴座造型外模模具的填充率为25%,顶部/底部壁厚为2.0 mm,其余壁厚为1.5 mm。利用艾德堡LX-D邵氏硬度计、游标卡尺和Mitutoyo SJ-201粗糙度测试仪测量了造型外模模具的硬度、尺寸精度与表面粗糙度。利用数显液压强度试验机测量了放置时间间隔为1 h、2 h、3 h、4 h、5 h、6 h和24 h的砂芯的抗拉强度。将造型外模模具与砂芯进行V法造型、铝合金(ZL101)浇注试验,利用游标卡尺、Mitutoyo SJ-201粗糙度测试仪测量铸件尺寸精度与表面粗糙度。

2 试验结果与分析

2.1 FDM 打印造型外模模具的性能

FDM打印机械臂三轴座造型外模模具如图3所示,其邵氏硬度、尺寸精度与表面粗糙度测试结果见表3。FDM可直接在V法造型外模模具上打印出直径0.5~0.8 mm的通气孔,不用再打排气塞,且通气孔位置不受任何限制(图3c),可最大程度保证V法造型时薄膜的覆模性,这样既缩短了加工周期,又能最大程度保证薄膜的覆模性,降低模具材料成本。本试验所用打印材料为PLA,是一种新型生物降解材料^[17-18],完全可回收。此外,利用FDM打印V法模具时,在保证模具强度、硬度前提下可降低模具填充率(图3d),可在造型外模模具设计阶段将模具“掏空”,即在保证模具强度的前提下将模具打印成空腔结构,如图3e所示,图中的支撑结构可去除,也可保留,以便在V法造型时支撑造型外模模具,这样既节省材料又缩短加工周期。除此之外,FDM打印V法造型外模模具还可节省模具存放空间,对于一段时间不使用的模具,可将打印数据备份,然后将模具完全重熔,挤压成丝,待到需要使用时,直接调出备份数据,用FDM设备打印。打印材料为PLA,由可再生的植物资源所提炼出的淀粉原

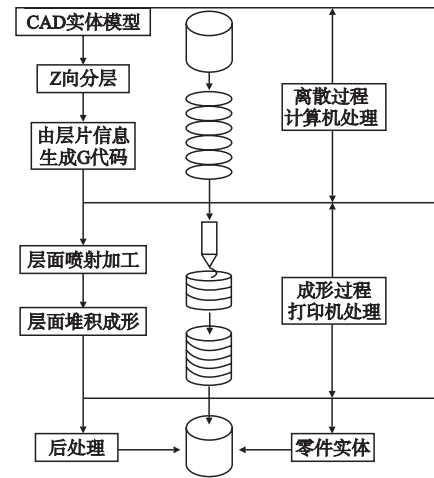


图1 FDM工作原理
Fig. 1 Principle of FDM

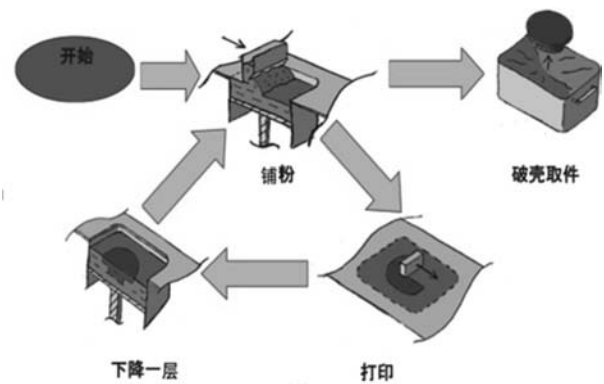


图2 3DP工艺打印示意图
Fig. 2 Schematic diagram of 3DP process

料制成,可被自然界中微生物完全降解为 CO_2 和 H_2O ^[17-18],打印过程中几乎不释放任何有毒气体,对环境、工人无危害。

综上所述,FDM打印V法模造型外模模具既缩短了模具加工周期,又降低了模具加工成本,节省模具存放空间,而且还环保。因此,FDM打印V法造型外模模具是未来加工V法造型外模模具的可选方案。

从表3可知,FDM打印机械臂三轴座造型外模模具的邵氏硬度高于木模的硬度,线收缩率低于木模失水1%时的收缩量,体积收缩率与铝合金模具自由收缩量相接近^[21]。

表1 PLA(聚乳酸)的性能
Table 1 Performance of PLA

成形温度/℃	耐热温度/℃	收缩率/%	外观	性能
170~230	70~90	0.3	较好的光泽性和透明度	可降解,良好的抗拉强度和延展性,耐热性不好

2.2 3DP 打印砂芯的性能

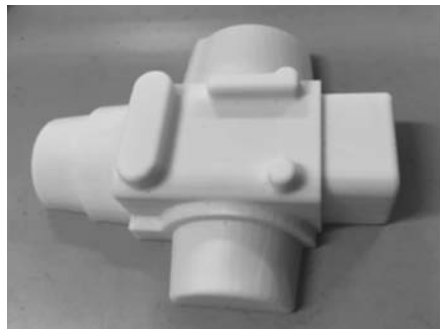
3DP打印机械臂三轴座砂芯打印层厚为0.3 mm，打印完成的砂芯如图4所示，砂芯涂料为水基涂料，喷涂方式为浸涂。涂料烘干后的砂芯表面光洁，无砂粒间凹坑或凸起，利用数显液压强度试验机测量了放置1 h、2 h、3 h、4 h、5 h、6 h和24 h后砂芯的抗拉强度，得到抗拉强度-时间曲线如图5所示。从图5中可看出，3DP打印砂芯24 h抗拉强度为1.424 MPa，满足使用要求^[22]。约1.5 h后砂芯抗拉强度超过1 MPa，随放置时间延长砂芯抗拉强度增加。基于上述试验结果，再结合打印砂芯所需时间，本研究选择使用打印完成后放置5 h的砂芯，这样既保证了砂芯的强度又保证了可操作性。刷涂料前将砂芯放于电热恒温鼓风干燥箱中，

表2 3DP打印砂芯材料配比
Table 2 Ratio of sand core materials for 3DP

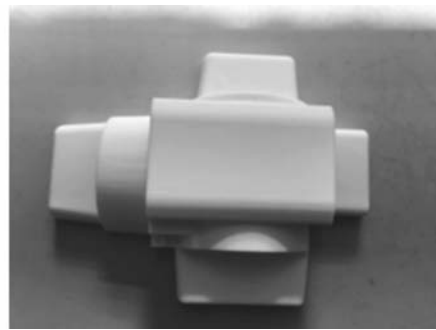
项目	材料	占比/%
型砂	硅砂(70~140目)	9.8
粘结剂	呋喃树脂	1.7
固化剂	苯磺酸	40(占粘结剂比例)

表3 机械臂三轴座模样的性能
Table 3 Performance of robotic arm triaxial housing pattern

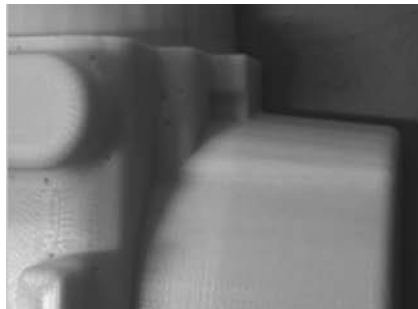
邵氏硬度HD	线收缩率/%	体积收缩率/%	表面粗糙度/ μm
82.3	0.301	1.121	2.903



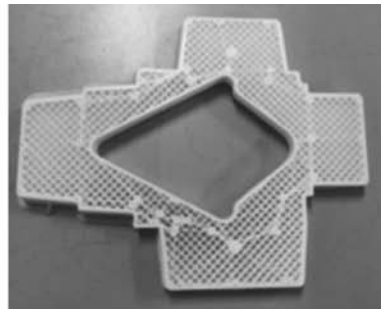
(a) 机械臂三轴座上模具



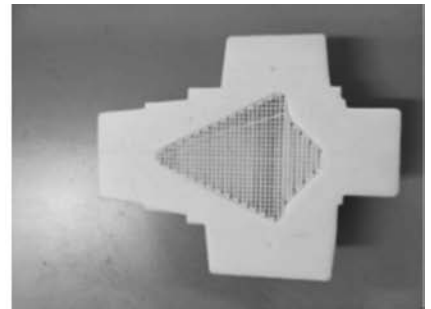
(b) 机械臂三轴座下模具



(c) 模具通气孔直径0.6 mm



(d) 模具内部网格填充



(e) 模具内腔及支撑结构

图3 FDM打印机械臂三轴座模样

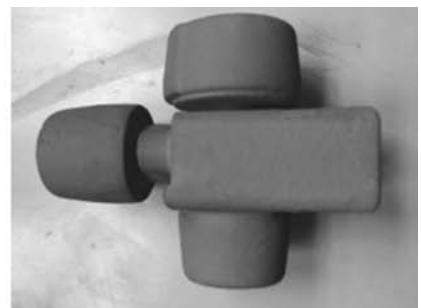
Fig. 3 Robotic arm triaxial housing pattern by FDM printing



(a) 未刷涂料砂芯



(b) 浸涂涂料后砂芯



(c) 涂料烘干后砂芯

图4 3DP打印成形的机械臂三轴座砂芯

Fig. 4 Robotic arm triaxial housing sand core by 3DP process

在80 ℃温度下烘干1 h, 加快砂芯内部树脂与固化剂(苯磺酸)的反应速度, 从而提高砂芯的强度。烘干完成后, 将砂芯浸入水基涂料中, 进行第一次施涂, 将施涂完成的砂芯放于烘箱中, 在120 ℃温度下烘干30 min, 将烘干的砂芯取出, 再次浸入比第一次浓度低的水基涂料中, 进行第二次施涂, 将施涂完成的砂芯放于烘箱中, 在120 ℃温度下烘干45 min, 烘干完成后, 关闭烘箱电源, 砂芯放于烘箱中, 待造型时使用。

2.3 V法造型、铝合金浇注试验结果分析

机械臂三轴座零件的V法造型过程如图6所示。从图6a、b中可看出, 由于FDM打印V法造型外模模具时通气孔的设计没有任何限制, 因此在V法造型时薄膜的覆膜性非常好, 几乎没有任何搭桥现象; 由于FDM打印V法造型外模模具的表面粗糙度低, 因此V法铸型型腔表面光洁度高。浇注得到的铝合金机械臂三轴

座铸件表面光洁度高, 内部结构完整、精确。测量铸件尺寸、表面粗糙度, 结果表明: 与三维模型相比, 机械臂三轴座铸件线收缩率为0.342%, 体积收缩率为1.253%, 铸件表面粗糙度为3.314 μm 。

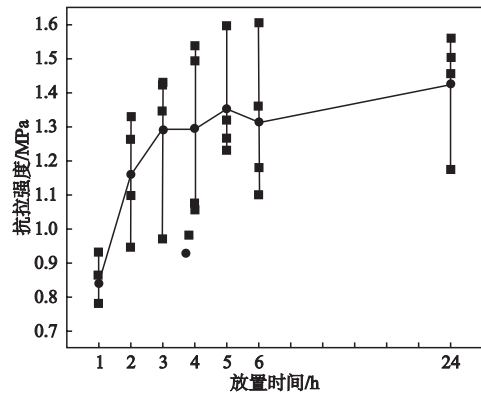


图5 砂芯抗拉强度-时间曲线

Fig. 5 Tensile strength-time curve of sand core

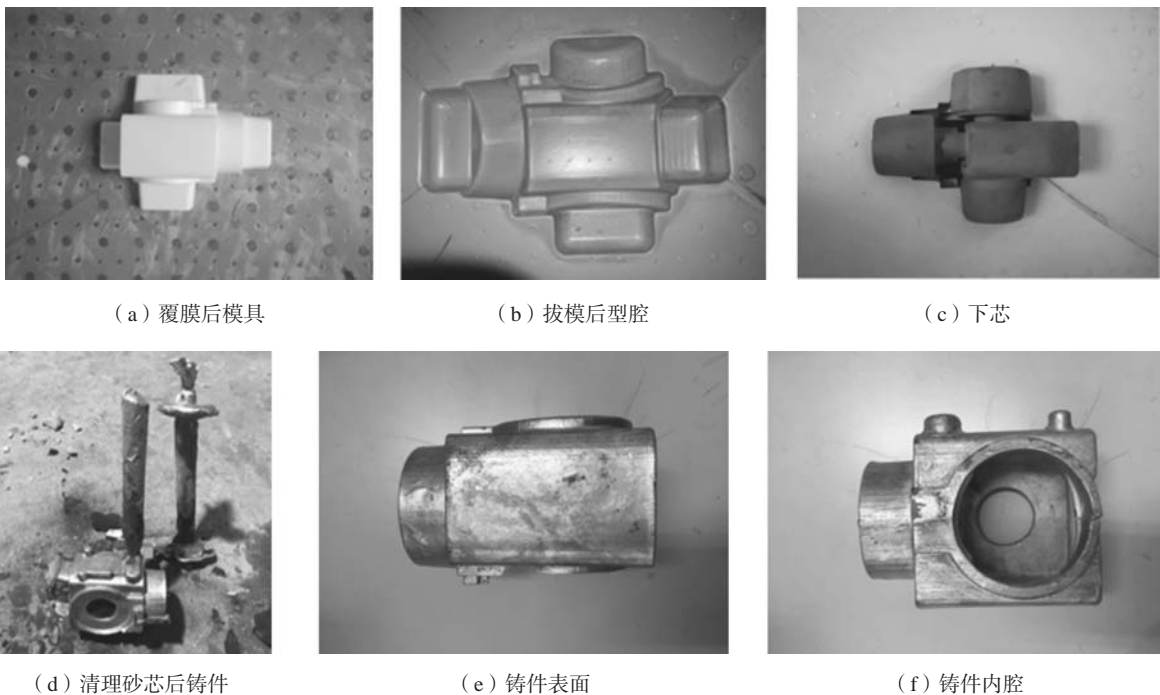


图6 V法造型、铝合金浇注过程

Fig. 6 Vacuum molding process of robotic arm triaxial housing and produced aluminum casting

3 结论

(1) FDM工艺打印V法造型外模模具既缩短了模具加工周期, 又降低了模具加工成本, 节省了模具存放空间, 且非常环保。

(2) FDM打印机械臂三轴座造型外模模具邵氏硬度为HD82.3, 高于木模; 线收缩率为0.301%, 低于木模失水1%时的收缩量; 体积收缩率为1.121%, 与铝合金模具自由收缩量相接近。

(3) 3DP打印砂芯24 h抗拉强度为1.424 MPa, 满足使用要求。

(4) FDM打印机械臂三轴座造型外模模具覆膜性好, 铸型型腔表面光洁度高, 浇注得到的铝合金机械臂三轴座铸件表面光洁, 内部结构完整、精确, 线收缩率为0.342%, 体积收缩率为1.253%, 表面粗糙度为3.314 μm 。

参考文献:

- [1] 叶升平, 刘德汉. 国内外V法铸造技术的发展现状与问题 [J]. 特种铸造与有色合金, 2009, 29 (2): 158-161.
- [2] 周绍雷, 陶标, 秦国斌, 等. 五轴联动加工中心在V法铸造木模制作中的应用 [J]. 特种铸造与有色合金, 2013, 33 (10): 955-956.
- [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 (3): 1-4.
- [4] 郭志飞, 张虎. 增材制造技术的研究现状及其发展趋势 [J]. 机床与液压, 2015, 43 (5): 148-151.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 赵萍, 蒋华, 周芝庭, 等. 熔融沉积快速成型工艺的原理及过程 [J]. 机械制造与自动化, 2003 (5): 17-18.
- [8] 邹国林. 熔融沉积制造精度及快速模具制造技术的研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2002.
- [9] 赵龙, 马睿, 黄部东. 浅谈FDM打印大型模具结构设计方法 [J]. 铸造设备与工艺, 2017 (6): 19-21.
- [10] 杨永泉, 刘文辉. 喷墨砂型打印技术浅析 [C]//2015中国铸造活动周论文集. 长沙, 2015.
- [11] UTELA B, STORTI D, ANDERSON R, et al. A review of process development steps for new material systems in three dimensional printing (3DP) [J]. Journal of Manufacturing Process, 2008, 10 (2): 96-104.
- [12] KUMAR S. Selective laser sintering: a qualitative and objective approach [J]. JOM, 2003, 55 (10): 43-47.
- [13] 田乐, 沈其文, 魏青松, 等. 复杂铸造砂型 (芯) 3D打印关键工艺参数及材料的应用研究 [C]//2015中国铸造活动周论文集. 长沙, 2015.
- [14] 周绍雷, 陶标, 秦国斌, 等. 五轴联动加工中心在V法铸造木模制作中的应用 [J]. 特种铸造与有色合金, 2013, 33 (10): 955-956.
- [15] 周倩. FDM快速成型表面质量及其性能研究 [D]. 济南: 山东大学, 2017.
- [16] 石庆杰, 肖军杰, 程光耀, 等. 3D打印PLA材料的工艺参数优化 [J]. 绿色包装, 2018 (8): 55-61.
- [17] 刘文杰. 3D打印用改性聚乳酸线材的制备与性能研究 [D]. 南昌: 南昌航空大学, 2018.
- [18] 肖淼, 杨其, 蔡盛梅, 等. PCL增韧PLA共混材料的制备与性能研究 [J]. 塑料工业, 2010, 38 (6): 15-18.
- [19] 彭安华, 张剑峰, 王其兵. 提高快速成型制件精度方法研究 [J]. 热加工工艺, 2008, 37 (5): 122-126.
- [20] 史晓楠. FDM中支撑设计规则研究 [J]. 技术与创新管理, 2009, 30 (5): 663-668.
- [21] 姜希尚. 铸造手册: 第5卷 铸造工艺 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1997.
- [22] 李远才, 董选普. 铸造造型材料使用手册 [M]. 第2版. 北京: 机械工业出版社, 2015: 323-324.

Vacuum Molding Process for Robotic Arm Triaxial Housing Based on Additive Manufacturing Technology

ZUO Chun-lin, DONG Xuan-pu, LIN Shao-kai

(State Key Laboratory of Material Processing and Die & Mold Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, Hubei, China)

Abstract:

Aluminum alloy robotic arm triaxial housing pattern was printed by fused deposition modeling (FDM) process, and the sand core for the robotic arm housing casting was printed by three-dimensional rapid printing (3DP) molding process. The process parameters such as dimensional accuracy and surface roughness of pattern as well as strength of sand core were analyzed. The pattern and sand core were used for vacuum molding process in aluminum alloy casting experiment. The results indicate that the linear contraction and volume contraction of the robotic arm housing pattern is respectively 0.301% and 1.121%, the 24 h final strength of sand core is 1.424 MPa; the linear contraction and volume contraction of the robotic arm housing casting is respectively 0.342% and 1.253%, and the surface roughness is 3.314 μm , which meets the casting quality requirements.

Key words:

fused deposition modeling; three dimensional printing; vacuum molding process; robotic arm triaxial housing