● 特种铸造 Special Casting ●

DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.08.015

# 3D 打印模样技术熔模铸造工艺最小铸出壁厚的研究

郭建东,闫海洋,杨文亮,徐继福,黄 顺
(北京机科国创轻量化科学研究院有限公司,北京 100083)

**摘 要**:基于蜡模 3D 打印技术,探索了熔模铸造工艺不同壁厚零件的充型情况。结果表明,3D 打印可制备 0.5 mm及以上蜡模模具,但在浸蜡过程中 0.5 mm 及 1.0 mm 的蜡模均发生明显变形,不满足精度要求,满足浸蜡要求的蜡模最小厚度为 1.5 mm;熔模铸造过程中,0.5 ~ 2.0 mm 厚的铝铸件充型过程出现不同程度的浇不足问题,壁厚 2.5 mm的充型良好;0.5 ~ 2.5 mm 厚的铸铁件充型良好,无明显缺陷。

**关键词**:熔模铸造;制壳;充型;壁厚
**中图分类号**:TG249 **文献标志码**:A **文章编号**:1000-8365(2021)08-0712-03

## Study on Minimum Cast Wall Thickness of Investment Casting Technology Based on 3D Printing Pattern

GUO Jiandong, YAN Haiyang, YANG Wenliang, XU Jifu, HUANG Shun
(Beijing National Innovation Institute of Lightweight Co., Ltd., Beijing 100083, China)

**Abstract**: Based on the wax mold 3D printing technology, the mold filling situation of parts with different wall thickness in investment casting process was explored. The results show that the 0.5 mm and the wax mold can be prepared by 3D printing, but the 0.5 mm and 1.0 mm wax mold are obviously deformed in the process of paraffin dipping, and the minimum thickness of the wax mold meeting the requirements of paraffin dipping is 1.5 mm. In the process of investment casting, the filling of aluminum castings with 0.5 ~ 2.0 mm thickness appears different degree of insufficient casting, and the filling of aluminum castings with 2.5 mm wall thickness is good. The cast iron of 0.5 ~ 2.5 mm thickness has good filling and no obvious defects.

**Key words**: investment casting; shell making; filling; wall thickness

3D 打印作为快速成形技术的一种,又称增材制造,是一种以三维模型文件为基础,运用粉末状金属或塑料等可粘合材料,通过逐层打印的方式来构造物体的技术[1-3]。目前 3D 打印技术已经逐渐成熟,目前运用比较多的有蜡模 3D 打印机、光敏树脂 3D 打印机、砂型 3D 打印机、金属 3D 打印机、石膏 3D 打印机等,在珠宝、鞋类、工业设计、建筑、工程和施工、汽车、航空航天、牙科和医疗产业、教育等各个行业都有着十分重要的应用[4-6]。

目前精密铸造已经在铸造行业中蓬勃发展,但精密铸造生产加工过程中仍然存在模具加工周期长,复杂零件成形困难等一系列的技术难题。而 3D 打印技术在复杂零部件快速成形方面的技术优势可以很好的解决这一技术难题,特别是对于新产品研发阶段,能够快速响应产品的设计变更,缩短产品研制周期,大幅度提高新产品开发效率[7-10]。本文所应用的蜡模 3D 打印技术是一种依靠激光烧结 PSB 粉末,逐层堆积成型的打印技术。主要研究基于蜡模 3D 打印技术的熔模铸造工艺的最小铸出壁厚,以此作为后续工艺设计及生产过程的指导。

## 1 试验设计

### 1.1 3D 打印试验参数设计

本次打印测试共打印 3 组蜡模长、宽都为 100 mm,厚度分别为 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 mm,测试蜡模打印成型过程中的变形情况及其铸造过程的成形情况,选取两组蜡模进行铸造,材料分别为铸铝和铸铁。蜡模的处理过程可以分为模型的前处理和后处理,前处理一般包括三维模型的处理以及设置合理的打印工艺参数,模型处理即根据图纸的机加工需要,使用三维软件为模型添加适当的加工余量,以及根据铸造中材料的性能,为模型增加适当的收缩比,用于消除铸件在铸造过程中的收缩。常用的

**收稿日期**:2021-05-08
**基金项目**:国家重点研发计划资助:基于互联网的 3D 打印制造创新应用云服务平台(2016YFB1101800)
**作者简介**:郭建东(1992—),山东潍坊人,助理工程师. 主要从事非金属材料 3D 打印成形工艺方面的工作. 电话:15653697098, Email:996014563@qq.com

打印参数包括打印温度、激光功率等,合理的打印温度既可以保证蜡模打印不变形,又可以降低蜡模打印后处理的难度,合适的激光功率可以保证零件打印的强度,打印层厚可以设置 0.1 ~0.2 mm,基于打印效率和精度两方面的考量,目前多数采用 0.2 mm。蜡模打印之前应当进行适当的预铺粉,预铺粉不仅可以充当打印件保温层,而且也可以适当增加底层粉的厚度,增大与底板的距离,保证打印过程中成形部分的温度梯度的相对稳定。打印参数设置如表 1 所示。蜡模打印结束之后,待成型仓温度冷却到室温后取出模型,开始进行模型的后处理。

**表 1 3D 打印参数明细表**

**Tab. 1 Details of 3D printing parameters**

| 打印机参数 | |
|---|---|
| 填充功率 | 23 W |
| 轮廓功率 | 16 W |
| 填充速度 | 4 000 mm/s |
| 轮廓速度 | 900 mm/s |
| 加工温度 | 89 ℃ |
| 预铺粉温度 | 90 ℃ |
| 预铺粉温度保持温度 | 110 ℃ |
| 光斑偏置 | 0.25 mm |
| 分层厚度 | 0.2 mm |
| 分块大小 | 50 mm |

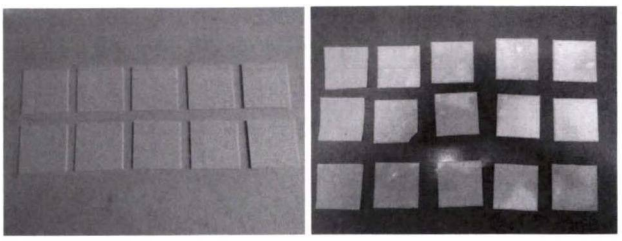
### 1.2　蜡模后处理

打印完成后的后处理包括清粉和浸蜡两个过程,清粉是蜡模打印最主要的环节之一,直接影响到我们铸件的外观质量以及精度。取件清粉过程中,每组试验样件都保存较好,未发现明显损坏,3D 打印蜡模成形情况如表 2 所示,清理完成后的样件如图 1(a)所示,清理完成后需把零件放到蜡池中浸蜡。蜡池中的蜡一般是用中温蜡和硬脂酸按照 2∶1 的比例配合而成,硬脂酸可以增加蜡的流动性和光洁度,使蜡模表面更加光洁,对铸件的质量有明显的提高。浸完蜡之后需要用热烘枪去除多余的蜡即得到成型的蜡模。浸蜡完成之后 0.5 mm 的蜡模发生明显变形,1.0 mm 的蜡模有轻微变形,其余蜡模未发现明显变形,3D 打印蜡模后处理情况如表 3,浸蜡完成后的样件如图 1(b)。

**表 2 3D 打印蜡模成形情况记录表**

**Tab. 2 3D printing wax mold forming record sheet**

| 厚度/mm | 成形情况 | 厚度/mm | 成形情况 |
|---|---|---|---|
| 0.5 | 良好 | 1.0 | 良好 |
| 1.5 | 良好 | 2.0 | 良好 |
| 2.5 | 良好 | | |



(a)清粉后试样模样　　(b)浸蜡后的试样模样

图 1 3D 打印经清粉后的试样模样

Fig. 1 Samples of 3D- printed wax molds

**表 3 3D 打印蜡模后处理情况统计表**

**Tab. 3 Record sheet after 3D printing wax film post- processing**

| 尺寸/mm | 变形情况 | 备注 |
|---|---|---|
| 0.5 | 三组均明显变形 | 受热变形 |
| 1.0 | 一组浸蜡时损坏,其余两组略微变形 | 一组浸蜡磕碰损坏 |
| 1.5 | 良好 | |
| 2.0 | 良好 | |
| 2.5 | 良好 | |

## 2　熔模铸造工艺验证

### 2.1　制壳

熔模铸造包括制壳和浇铸两个过程。3D 打印蜡模的制壳和传统的熔模铸造工艺基本相同,首先需要根据蜡模的类型设计好浇冒口,在挂浆之前将浇口粘好,与蜡模一起挂浆,目前浇口采用的材料为泡沫,采用泡沫可以省去脱蜡的过程,后续直接烧壳即可。由于硅溶胶模壳透气性较好,目前未设置冒口,铸件的补缩主要通过设置大的浇口保证。制壳过程通过在蜡模表面挂砂浆完成,由于本实验中试件蜡膜较小,挂 6 层砂浆即可。首层砂浆需要在恒温恒湿的环境中风干 6 h 左右,后续每一层一般控制在 18 h 以上。面层的材料采用锆英粉与硅溶配合,过渡层一般采用莫来砂、莫来粉配合硅溶胶按一定配比使用,最外层一般采用莫来粉与硅溶胶按一定配比用来封层。熔模铸造制壳配比如表 4。制壳完成后需要焙烧去除蜡膜及浇注系统,焙烧温度控制在 800 ~1 050 ℃,持续保温 0.5 h 时,在熔模铸造工艺制壳过程中,不同壁厚的零件均无明显损坏,熔模铸造制壳过程如图 2。

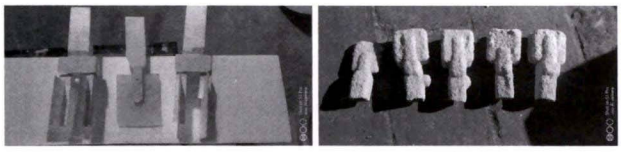
### 2.2　浇铸

为了验证不同材质在铸件成形过程中的最小铸出壁厚,本次试验选用了铸铝和铸铁两种材料进行验证。铸铁件一般不需要烧壳处理,而铸铝零件需

表 4 硅溶胶制壳配比明细表

Tab. 4 Silica sol shell proportioning list

| 种类 | 面层 | 过渡层（第二层） | 加固层（3～5） | 最外层 |
|---|---|---|---|---|
| 硅溶胶/kg | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 锆英粉/kg | 36 | | | |
| 莫来粉/kg | | 20 | 17 | 17 |
| 润湿剂/g | 16 | | | |
| 消泡剂/g | 12 | | | |



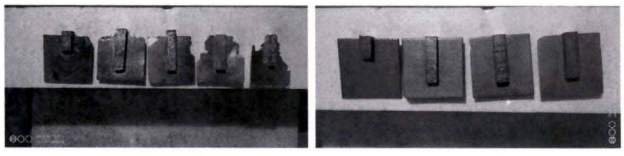
(a) 浇注系统模样　(b) 烧制的模壳

图 2 安装浇注系统的模样和烧制的模壳

Fig. 2 Patterns with gating system and fired shell molds

要提前对做好的模壳进行烧壳保温处理，温度控制在 300 ℃左右，保证浇铸时可以较好的充型。铸铁件在浇铸时铁液温度控制在 1 500 ℃左右，铸铝件浇铸时温度控制在 720 ℃左右。

浇铸完成后待铸件自然冷却，清理模壳即可得到铸件，铸件成形情况如图 3。由图 3 可知，铸铝件在壁厚 2.0 mm 及以下时均存在不同程度的浇不足等缺陷，2.5 mm 零件充型较好，外观完整，无明显铸造缺陷；铸铁件壁厚在 0.5 mm 及以上都能较好的完成充型，无明显的铸造缺陷。



(a)铸铝件　(b)铸铁件

图 3 铸铝件与铸铁件在不同壁厚情况下的成形效果图

Fig. 3 Forming of cast aluminum and cast iron with different wall thicknesses

## 3 结论

（1）在蜡模打印过程中 0.5 mm 及以上零件未发现明显问题，但在浸蜡过程中 0.5 mm 及 1.0 mm 的蜡模均发生明显变形。在熔模铸造工艺制壳过程中壁厚 0.5 mm 及以上蜡模均无损坏。

（2）在铸造过程中，铸铝零件壁厚在 0.5~2.0 mm 均出现不同程度的浇不足的问题，壁厚 2.5 mm 零件充型良好；铸铁零件壁厚 0.5 ~2.5 mm 均充型良好，无明显铸造缺陷。

**参考文献：**


[1] 杨清慧，尹毅. 3D 打印技术在熔模精密铸造样件上的应用探析[J]. 科技经济导刊，2021，29(8)：64-65.

[2] 柳建国，马 波. 熔模铸造硅溶胶快速制壳工艺研究与实践[J]. 特种铸造，2020，10(6)：1081-1086.

[3] 王荣，高映民. 硅溶胶模壳工艺试验[J]. 铸造技术，2019，40(7)：715-717.

[4] 胡克辉，赵鹏程吕志刚. 光固化增材制造技术在熔模铸造中的应用[J]. 熔模铸造，2021，2(70)：155-159.

[5] 蓝嘉欣，张文之，梁文海等. 基于 3D 打印的熔模铸造工艺设计[J]. 热加工工艺，2020，49(5)：68-72.

[6] 张青，陈玉平. 精密铸造硅溶胶模壳的制造工艺[J]. 锻造设备研究，2006(2)：18-19.

[7] 谢帆，王强. 熔模铸造壳型耐火材料及其选择[J]. 热加工工艺，2012，41(21)：58-59.

[8] 杨斌. 3D 打印技术在熔模精密铸造样件上的应用研究[D]. 镇江：江苏大学，2018.

[9] ODINOKOV V I, DMITRIEV E A, EVSTIGNEEV A I, et al. Modeling and Optimizing the Property Choices of Materials and Structures of Shell Molds for Investment Casting[J]. Steel in Translation, 2021, 10: 684-695.

[10] Singh Simranjeet, Kumar Parlad, Singh Jagmeet. An approach to eliminate shell cracking problem in fused deposition modeling pattern based investment casting process[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021, (1091) 1: 012035.



《铸件均衡凝固技术及应用实例》

《铸件均衡凝固技术及应用实例》由西安理工大学魏兵教授编著。共 8 章：1 铸铁件均衡凝固与有限补缩；2 铸铁件冒口补缩设计及应用；3 压边浇冒口系统；4 浇注系统大孔出流理论与设计；5 铸件均衡凝固工艺；6 铸钢、白口铸铁、铝、铜合金铸件的均衡凝固工艺；7 浇注系统当冒口补缩设计方法；8 铸件填充与补缩工艺定量设计实例。全书 320 页，特快专递邮购价 280 元。

邮购咨询：李巧凤 029－83222071，技术咨询：13609155628