

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2019.04.009

# 基于选择性激光烧结 PS 原型的 快速铸造工艺研究\*

邵中魁<sup>1</sup>, 沈小丽<sup>1</sup>, 何朝辉<sup>1</sup>, 黄建军<sup>1</sup>, 姜耀林<sup>1</sup>, 潘煜<sup>2</sup>

(1. 浙江省机电设计研究院有限公司, 浙江 杭州 311305; 2. 浙江省机电产品质量检测所, 浙江 杭州 310051)

**摘要:**针对传统熔模精密铸造工艺中熔模制作过程复杂的问题,以某典型零件为研究对象,开展了基于选择性激光烧结技术的熔模精密铸造工艺研究。首先采用 SolidWorks 建立了零件的三维模型,将模型导入激光烧结设备中,调整并优化了烧结设备的工艺参数,以 PS(聚苯乙烯)粉末为原材料进行了激光烧结成型,制得了零件的 PS 原型;然后,以该 PS 原型与蜡浇注系统结合后的整体模型作为熔模替代了传统压制蜡模,进行了熔模精密铸造,制得了目标零件的精密铸件;最后,测量并分析了铸件的尺寸精度和表面质量。研究表明:通过该快速铸造工艺制得的铸件质量较好,尺寸精度可达 CT6 级,表面粗糙度可达  $Ra6.3 \mu\text{m}$ 。

**关键词:**选择性激光烧结;快速铸造;聚苯乙烯原型;熔模

中图分类号:TH164;TG241

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2019)04-0387-04

## Rapid casting process based on PS prototype made by selective laser sintering

SHAO Zhong-kui<sup>1</sup>, SHEN Xiao-li<sup>1</sup>, HE Chao-hui<sup>1</sup>,  
HUANG Jian-jun<sup>1</sup>, JIANG Yao-lin<sup>1</sup>, PAN Yu<sup>2</sup>

(1. Zhejiang Institute of Mechanical & Electrical Engineering Co., Ltd., Hangzhou  
311305, China; 2. Zhejiang Testing & Inspection Institute for Mechanical and  
Electrical Products Quality, Hangzhou 310051, China)

**Abstract:** Aiming at the difficulty of making fired mold in traditional precision casting industry, an investment casting process study on typical component was conducted based on the selective laser sintering. Firstly, the 3D model of the support was designed by SolidWorks and then introduced to laser selection sintering molding equipment to have some preliminary treatment and then sintered for the PS prototype. Afterwards, the traditional suppressed wax model was substituted by the combined model of the PS prototype and the wax casting system to be the fired mold in casting process to make casting products. At last, the dimensional precision and surface roughness was analyzed. The results indicate that the casting products made by this rapid casting process have good quality as the dimensional accuracy can reach CT6 and the surface roughness can reach  $Ra6.3 \mu\text{m}$ .

**Key words:** selective laser sintering; rapid casting; PS prototype; fired mold

## 0 引 言

熔模精密铸造是一种近净成型的先进铸造技

术,适用于多种类型、多种合金的铸造,在实际工程中应用广泛。熔模精密铸造的第一道生产工序是制造熔模<sup>[1-2]</sup>。传统的蜡质熔模一般采用压蜡模具压制而成,而传统的压蜡模具制造工艺一般采用数

收稿日期:2018-11-08

基金项目:浙江省公益技术研究工业资助项目(2017C31091);浙江省重大科技专项重大工业资助项目(2018C01067)

作者简介:邵中魁(1988-),男,浙江浦江人,硕士,工程师,主要从事 3D 打印技术方面的研究。E-mail:zkshao1988@163.com

控加工或电火花加工,模具开发周期长、制造成本高,难以满足现代社会个性化、小批量生产的市场需求。因此,开发一种经济快速的熔模制造方法具有重要意义<sup>[3]</sup>。

3D 打印技术是制造业领域正在迅速发展的一项新兴技术,其仅利用三维设计数据在一台设备上即可快速而精确地制造出任意复杂形状的零件<sup>[4]</sup>,因此,结合了 3D 打印技术和铸造技术的快速铸造技术可在很大程度上降低铸造的时间和经济成本,受到了许多学者的关注<sup>[5-6]</sup>。姜耀林等<sup>[7]</sup>通过光固化 3D 打印技术制作了叶轮树脂模型,并以该模型作为熔模进行了熔模精密铸造,制得了离心泵叶轮精密金属零件;谭东等<sup>[8]</sup>综合利用了选择性激光烧结和光固化等 3D 打印技术制造了车钩砂型铸造需要的砂芯,实现了车钩的快速铸造。但是,目前基于选择性激光烧结的熔模精密快速铸造工艺方面的研究并不多见。

选择性激光烧结技术是一种典型的 3D 打印技术,可选用成型材料的范围广、制造工艺简单、成型精度高<sup>[9-10]</sup>。PS 粉末是选择性激光烧结工艺中常用的一种成型材料,具有烧结温度低、烧结变形小、成型性能优良,价格低廉、分解温度较低等优点<sup>[11]</sup>,因此,将选择性激光烧结 PS 原型作为熔模用于熔模精密铸造具有较大的应用前景。

本文将以典型支架零件为研究对象,开展基于选择性激光烧结技术的熔模精密铸造工艺研究。

## 1 快速制作熔模

本研究选择 3 个具有典型形状的支架零件作为研究对象,采用 SolidWorks 软件建立 3 个支架零件三维模型,如图 1 所示。

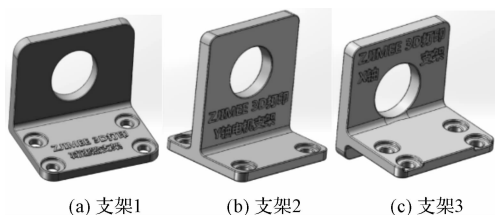


图 1 支架零件的三维模型

其次,笔者将 3 个支架零件的三维模型数据导入激光选区烧结成型设备(激光烧结 3D 打印机)中,优化设计激光烧结工艺参数,具体包括激光功率、扫描速度和铺粉厚度。再以 PS 粉末为材料将 3

个支架零件激光烧结成型,制得了各支架零件的 PS 原型,并对其进行清粉、渗蜡、干燥和打磨等后处理。

然后,本研究在支架零件 PS 原型的基础上粘制蜡浇注系统,该蜡浇注系统主要包括浇冒口、横浇道和排气孔等。

为节省材料和提高效率,本研究将 3 个支架零件的 PS 原型粘制在同一个蜡浇注系统上,最后制得的零件 PS 原型及其浇注系统的整体熔模模型,如图 2 所示。



图 2 整体熔模模型

## 2 熔模精密铸造

本研究将前述制得的零件 PS 原型及其浇注系统的整体熔模模型作为铸造熔模,进行了熔模精密铸造。

采用硅溶胶铸造工艺,在该熔模表面进行挂浆撒砂制壳,型壳制作过程如图 3 所示。

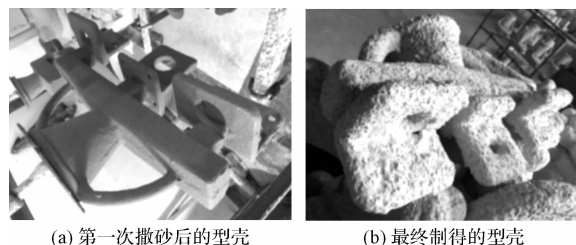


图 3 型壳制壳过程

首先进行第一次挂浆、撒砂、制壳,形成了面层砂型壳。为提高铸件表面质量,第一层型壳采用较细的莫来砂作为面层砂,重复多次制壳过程,最终制得型壳。

制壳完成后,分两步完成熔模脱除工作。(1)为水浴脱蜡,即将内含 PS 原型及蜡浇注系统的硅溶胶型壳整体放到高温脱蜡釜中沸水脱蜡,低熔点的蜡浇注系统会完全熔化流出型壳,流出的液蜡经后续冷却后可回收并再次使用;(2)将型壳中的蜡浇注系统脱除后,须再进行 PS 原型的脱除,由于 PS 材料的熔融温度

为 240 ℃, 须将内含零件 PS 原型的型壳放置到高温焙烧炉里进行高温焙烧, 焙烧时间约为 1 h, 以保证型壳内部的 PS 原型烧蚀干净。

焙烧完毕后的高温型壳没有裂痕出现, 可进行后续金属液浇注。通常可用于传统熔模铸造的金属材料基本都可用于快速铸造工艺, 该实验具体采用的浇注金属液为普通铸钢。

完成金属液浇注并冷却后的金属铸件如图 4 所示。

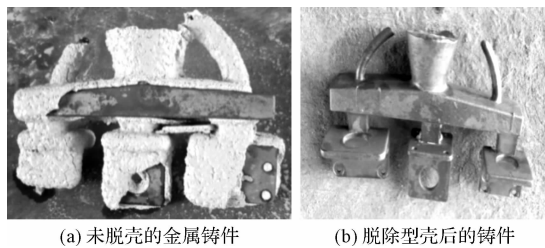


图 4 金属铸件

其中, 未脱壳的金属铸件外部还包覆了一层硅溶胶型壳, 将其放置在振动脱壳机上, 得到脱除型壳后的铸件。

本研究通过切除浇注系统, 并对 3 个金属铸件进行表面抛丸处理, 最终制得 3 个支架零件精密铸件, 如图 5 所示。

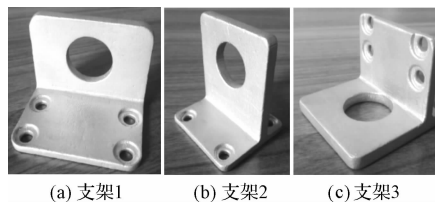


图 5 零件支架的精密铸件

由图 5 可知, 该批零件无明显的肉眼可见缺陷。

### 3 铸件质量评估

基于选择性激光烧结技术的快速精密铸造工艺所采用的熔模是 PS 烧蚀件, 传统熔模铸造采用的熔模是模具压制的蜡质熔模, 两种熔模的制作方式不同、材质不同, 会有不同的表面粗糙度和收缩膨胀率, 最终影响到金属铸件的尺寸精度和表面粗糙度。

为评估采用“基于选择性激光烧结技术的快速精密铸造工艺”快速制造的金属铸件的质量, 本研究对上述零件铸件的尺寸精度和表面粗糙度进行测量

分析。

根据前期的试验研究总结可知, 通过该快速精密铸造工艺制得的金属铸件的综合平均收缩率为 97.98%, 则铸件尺寸的理论值 = 模型尺寸 × 97.98%。

首先对支架的铸件尺寸精度进行校验, 支架的铸件尺寸测量示意图如图 6 所示。

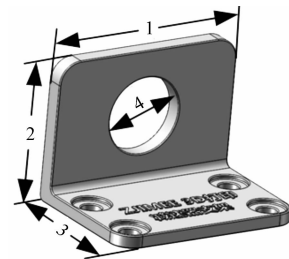


图 6 支架尺寸测量示意图

支架 1、支架 2、支架 3 的尺寸精度校验结果分别如表(1~3)所示。

表 1 支架 1 铸件尺寸精度校验结果

序号	理论值/mm	实测平均值/mm	尺寸误差/mm
1	88.18	88.22	+0.04
2	63.68	63.49	-0.19
3	63.68	63.62	-0.06
4	34.29	34.31	+0.02

表 2 支架 2 铸件尺寸精度校验结果

序号	理论值/mm	实测平均值/mm	尺寸误差/mm
1	63.69	63.81	+0.12
2	74.46	74.45	-0.01
3	58.79	58.64	-0.15
4	29.39	29.50	+0.11

表 3 支架 3 铸件尺寸精度校验结果

序号	理论值/mm	实测平均值/mm	尺寸误差/mm
1	63.69	63.89	+0.20
2	62.71	62.51	-0.20
3	51.93	51.88	-0.05
4	29.39	29.51	+0.12

由表(1~3)可知: 支架铸件的尺寸误差范围为 -0.20 mm ~ +0.20 mm, 可达到 CT6 级精度。

完成尺寸测量后, 再对支架铸件的表面粗糙度进行测量。测量方法为在 3 个支架铸件表面分别随机选择均匀布置的 20 个点进行表面粗糙度测量, 并记录测量值。

3 个支架铸件表面粗糙度的测量值如表 4 所示。

表 4 支架铸件表面粗糙度(单位:  $\mu\text{m}$ )

序号	支架 1	支架 2	支架 3
1	3.48	2.52	3.74
2	3.22	3.24	4.62
3	4.56	2.97	4.51
4	3.68	4.13	2.84
5	5.26	5.20	4.76
6	2.78	3.12	2.74
7	4.62	2.77	3.09
8	3.86	4.13	4.25
9	3.94	3.45	5.41
10	4.46	4.21	2.43
11	5.12	3.52	5.10
12	3.94	5.44	2.84
13	3.88	3.56	2.85
14	2.96	3.77	3.47
15	3.82	3.98	3.87
16	3.34	2.99	3.82
17	4.56	4.74	4.12
18	2.74	2.71	3.40
19	4.58	3.52	4.92
20	3.26	4.96	2.89
平均值	3.85	3.74	3.78

由表 4 可知:

(1) 3 个支架的平均粗糙度分别为  $3.85 \mu\text{m}$ 、 $3.74 \mu\text{m}$  和  $3.78 \mu\text{m}$ , 所有支架的总体平均粗糙度为  $3.79 \mu\text{m}$ , 说明铸件的表面质量较为稳定, 样点选区较为合理;

(2) 3 个支架铸件表面粗糙度范围为  $2.43 \mu\text{m} \sim 5.44 \mu\text{m}$  之间, 说明通过本研究开发的“基于选择性激光烧结 PS 粉末的快速铸造工艺”制得的金属铸件表面粗糙度可达  $Ra6.3 \mu\text{m}$ , 表面质量较为理想。

## 4 结束语

本文对一种基于选择性激光烧结 PS 粉末的快速精密铸造工艺进行了研究。结论如下:

(1) 该工艺成功完成了典型金属零部件的精密铸件制造; 对金属铸件进行测试发现, 铸件的尺寸精度在

$\pm 0.2 \text{ mm}$  之间, 可达到 CT6 级精度, 表面粗糙度达到  $Ra6.3 \mu\text{m}$ , 铸件质量较为理想; 且 PS 粉末烧结件的熔融温度较低, 在型壳内焙烧时基本无胀型现象出现, 铸造成功率较高;

(2) 该工艺可省去传统熔模铸造中模具制造的经济和时间成本, 且工艺简单、通用性强, 适用于各种零件的小批量快速生产以及新产品的开发试制。

## 参考文献(References):

- [1] 聂爽, 刘子辉. 精密铸造铸件的生产流程及工艺控制[J]. 现代铸铁, 2017(6): 39-43.
- [2] 钱兵, 孙嘉繁, 谢菲, 等. Si 对离心铸造 25Cr35Ni96 + 微合金乙烯裂解炉管抗氧化和抗渗碳性能的影响[J]. 压力容器, 2018, 35(5): 28-34.
- [3] 姜耀林, 邵中魁. 3D 打印在快速熔模精密铸造技术中的应用[J]. 机电工程, 2017, 34(1): 48-51.
- [4] 张学军, 唐思熠, 肇恒跃, 等. 3D 打印技术研究现状和关键技术[J]. 材料工程, 2016, 44(2): 122-128.
- [5] 张建平, 高飞, 王玲玲. 快速成型技术在熔模精密铸造中的应用[J]. 新技术新工艺, 2014(3): 5-8.
- [6] 张渝. 3D 打印技术及其在快速铸造成形中的应用[J]. 铸造技术, 2016(4): 759-764.
- [7] 姜耀林, 邵中魁, 郭嘉. 基于 3D 打印技术的离心泵叶轮快速精铸工艺研究[J]. 制造业自动化, 2015, 37(2): 153-156.
- [8] 谭东, 夏少华, 史耀君, 等. 基于 3D 打印技术的车钩快速铸造工艺研究[J]. 铸造, 2018(6): 475-478.
- [9] KUMAR S. Selective laser sintering: a qualitative and objective approach[J]. JOM, 2003, 55(10): 43-47.
- [10] SHIRAZI S F, GHAREHKHANI S, MEHRALI M, et al. A review on powder-based additive manufacturing for tissue engineering: selective laser sintering and inkjet 3D printing[J]. Science & Technology of Advanced Materials, 2015, 16(3): 033502.
- [11] 杨来侠, 刘旭. PS 粉的选择性激光烧结成型工艺实验[J]. 塑料, 2016, 45(1): 100-103.

[编辑: 李辉]

### 本文引用格式:

邵中魁, 沈小丽, 何朝辉, 等. 基于选择性激光烧结 PS 原型的快速铸造工艺研究[J]. 机电工程, 2019, 36(4): 387-390.

SHAO Zhong-kui, SHEN Xiao-li, HE Chao-hui, et al. Rapid casting process based on PS prototype made by selective laser sintering[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2019, 36(4): 387-390.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>