

铝合金管接头的快速砂铸工艺

张守银, 黄 政, 严青松

(南昌航空大学轻合金加工科学与技术国防重点学科实验室, 江西南昌 330063)

摘要: 铝合金管接头的表面质量要求较高, 通常采用熔模铸造进行生产。对于批量较小的管接头铸件, 采用成本较低的SLS砂型快速铸造进行制备, 如果能提高铸件的表面质量, 使其达到或接近熔模铸造水平, 将具有重要的成本优势和研究价值。本实验进行了铝合金管接头快速砂型铸造工艺研究, 使用铸造数值模拟软件ProCAST对铸造工艺进行了分析, 采用选区激光烧结技术制备了砂型随形模具, 制备了合格铸件。结合涂料涂覆工艺及后期处理, 消除了快速成形砂型及铸件存在的阶梯效应, 降低了铸件表面粗糙度值, 显著提高了铸件表面质量。

关键词: 快速铸造; 选区激光烧结; 随形模具; 表面质量

由于铝合金管接头铸件对表面质量有较高的要求, 通常采用熔模铸造进行生产。而熔模铸造生产周期长、成本较高, 尤其是小批量生产, 产品成本的增加在一定程度上限制了其在民用领域的应用^[1-2]。因此, 研究铝合金接头铸件的砂型铸造工艺具有良好的应用前景。传统砂型铸造工艺应用于形状或型腔较为复杂的铸件生产时, 存在模具制作周期较长、费用较高、表面质量较差等问题^[3-6]。相对于传统的砂型铸造, 采用选区激光烧结 (Selective Laser Sintering, SLS) 快速成形制备砂型和砂芯, 具有响应速度快、制造周期短、灵活性高、稳定性好、形状不受限制等优点, 为铸件样件试制以及复杂薄壁整体铸件的制备提供了良好的技术途径^[7-12]。使用SLS覆膜砂铸造工艺制备小批量铝合金铸件具有优势。然而, 采用选区激光烧结技术制备砂型、砂芯生产的铸件阶梯现象较为严重, 尤其是铸件曲面、斜面部分。阶梯效应的存在严重影响铸件的表面质量^[13], 是SLS覆膜砂铸造工艺亟待解决的问题。

本文以ZL114A合金管接头铸件为研究对象, 通过数值模拟对铸件的铸造工艺进行分析验证, 采用SLS覆膜砂铸造工艺制备砂型和砂芯, 并进行了铸件的试制。同时, 对消除铸件表面的阶梯效应、提高铸件的表面质量进行了研究, 起到了良好的效果。

1 管接头铸件结构特点

管接头材质为铝合金ZL114A, 铸件数模图如图1所示。该管接头为不规则的管形件, 内部有壁厚不均匀的连接部分 (图1b)。主体高度为103 mm, 最宽处为71.5 mm, 最窄处为61.5 mm, 最薄管壁厚约5 mm, 总质量约为1.5 kg。

2 铸造工艺方案

2.1 铸造工艺设计

该管接头铸件内部存在厚壁和薄壁相接的部分, 其中厚壁部分约15 mm, 不易进行补缩。因此, 浇注系统采用中注式, 在管壁与厚壁位置相接处设置内浇道, 并将浇注系统设计成侧冒口形式, 对该厚大部位进行一定程度的补缩。为实现顺序凝固, 铸件顶部采用环形冒口进行补缩。浇注系统数模图见图2。

作者简介:

张守银 (1982-), 男, 讲师, 博士研究生, 研究方向为快速铸造和纤维增强复合材料制备。电话: 13647081021, E-mail: jasonzhang2000@126.com

中图分类号: TG292

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2020)02-0196-04

基金项目:

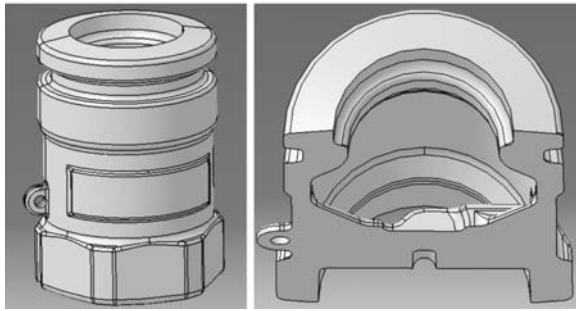
南昌航空大学博士启动基金项目 (EA201703481); 科技厅主管项目 (CK201803252)。

收稿日期:

2019-05-20 收到初稿,
2019-10-29 收到修订稿。

2.2 模拟分析

采用ProCAST软件对浇注系统进行了验证。ZL114A合金的凝固区间范围为548~613 ℃，浇注温度为720 ℃，砂型与铸件之间换热系数为500 W/(m²·K)。铝合金管接头铸件的充型过程模拟结果如图3所示。浇注过程中，管接头内部厚壁和薄壁相接处起到了分流



(a) 铸件图 (b) 铸件剖视图

图1 管接头铸件数模图

Fig. 1 3D model of piping joint casting

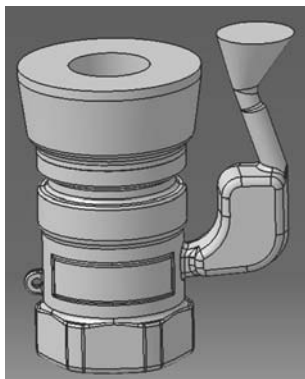
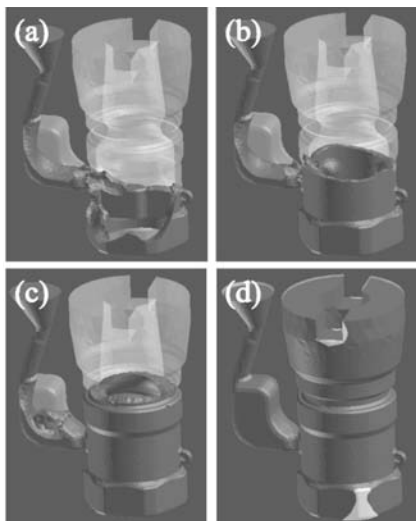


图2 管接头铸件浇注系统

Fig. 2 Gating system of piping joint casting



(a) 0.4 s; (b) 0.7 s; (c) 1.0 s; (d) 3.0 s

图3 充型过程模拟结果

Fig. 3 Filling process simulation at different times

的作用，便于金属液迅速充填铸件底端部分，随后平稳上升。充型时间约为3 s。

从缩孔缩松预测结果可以看出(图4)，主要缺陷位置集中在顶冒口和浇道位置，说明顶冒口和带有侧冒口的浇道对铸件有良好的补缩作用。

2.3 模具设计

结合激光快速成形的特点，依据铸件浇注系统对模具进行了设计。为缩短砂型烧结制备时间，将整体砂型更改为随形砂型，并对砂型和砂芯进行了定位设计，从而保证铸件的尺寸精度。砂型(芯)数模如图5所示。铸件内腔距离砂型外面平均距离约为25 mm，在保证砂型强度的同时，也提高了凝固过程中的铸件散热。

3 砂型(芯)制备及管接头试制

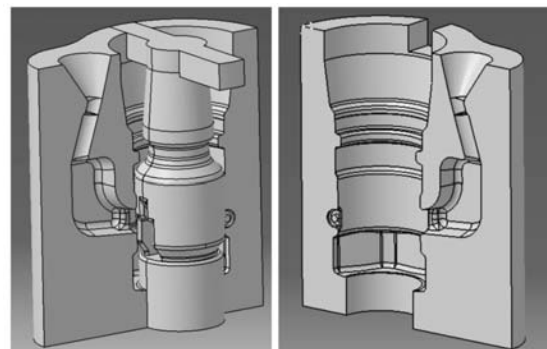
3.1 砂型(芯)及制备

采用AFS-5300型激光快速成形设备制备了砂型和砂芯(图6)。所用宝珠砂覆膜砂为100/270目，铺粉厚度为0.15 mm，激光烧结工艺参数确定为：激光功率为40 W，扫描速度为2 000 mm/s，光斑直径为0.4 mm。激



图4 缩孔缩松预测

Fig. 4 Predicted shrinkage porosity via numerical simulation



(a) 左半模及砂芯 (b) 右半模

图5 砂型(芯)数模图

Fig. 5 3D model of sand mould (sand core)

光烧结砂型砂芯的初强度较低,需要对其进行加热后固化处理,提高砂型强度。固化温度为170℃,保温时间为2h。

3.2 涂料涂覆

为提高铸件表面质量、降低铸件表面粗糙度,对砂型和砂芯表面进行了涂料涂覆。采用上海涂料研究所开发的水基铝合金涂料进行喷涂,烘干后浇注。涂覆涂料后的砂型和砂芯如图7所示。

3.3 管接头铸件试制

采用所制备的砂型、砂芯进行了组型、浇注试制,浇注温度为720℃,浇注时间约为3s。浇注后的铸件如图8所示。铸件充型完整,但表面存在明显的分层,铸件表面质量较低。在采用SLS技术分层制备的过程中,模型的表面层与层之间会产生阶梯,即阶梯效应^[13]。阶梯效应是激光快速成形常见的表面缺陷,消除阶梯效应是降低铸件表面粗糙度的关键。

3.4 表面质量改进

为改善模型的阶梯效应,可以通过减小分层厚度,改变模型的摆放角度,选择打印精确度高的设备等方法^[13],但不能完全消除阶梯效应。本文采取涂覆涂料以及型腔内表面打磨处理来减小砂型(芯)表

面的阶梯效应,进而提高铸件表面质量。试验结果表明,经打磨处理的砂型可明显降低SLS制备砂型的阶梯效应,如图9a所示。对处理后的砂型、砂芯进行合模浇注,获得铸件见图9b。由图可见,经处理后的砂型浇注所获得铸件轮廓较为清晰,表面光亮,表面质量得到了很大的提高。管接头铸件表面局部放大图如图9b所示。采用TR100粗糙度仪对喷涂涂料的铸型、喷涂涂料后打磨的铸型内表面,以及制备的铸件进行了表面粗糙度测量。每组分别选取了5个不同位置进行测量,结果见表1。可以看出,经打磨处理后,铸型内表面的粗糙度平均值由4.29 μm降至3.54 μm,对应的铸件表面粗糙度平均值由2.74 μm降至1.26 μm。

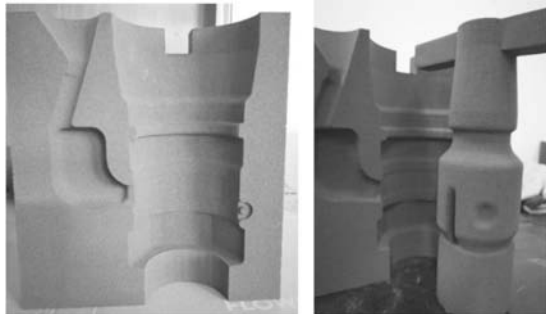


图8 管接头试制铸件

Fig. 8 Trial-produced piping joint casting

表1 砂型内腔及铸件表面粗糙度
Table 1 Surface roughness of sand mold cavity and produced casting

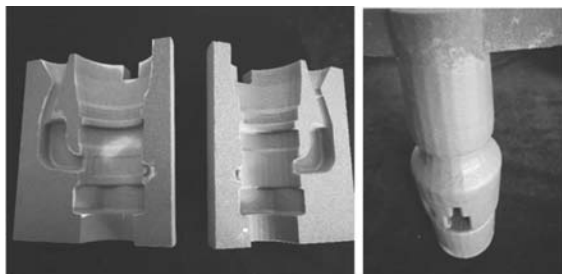
表面类别	1	2	3	4	5	平均值
喷涂涂料的铸型	3.96	3.10	5.29	5.18	3.91	4.29
喷涂涂料后打磨的铸型	2.62	3.41	4.27	4.11	3.28	3.54
喷涂涂料制备铸件	2.23	1.57	3.01	3.14	3.76	2.74
喷涂涂料后打磨铸型制备铸件	1.26	1.05	1.66	1.05	1.30	1.26



(a) 砂型 (b) 砂芯

图6 SLS制备的砂型和砂芯

Fig. 6 Sand mold and sand core prepared using SLS



(a) 砂型 (b) 砂芯

图7 涂覆涂料后的砂型和砂芯

Fig. 7 Sand mold and sand core after coating



(a) 经打磨处理的砂型 (b) 表面质量改进的铸件

图9 经打磨处理的砂型及表面质量改进的铸件

Fig. 9 Sand mold after coating and polishing and produced casting with high surface quality

4 结束语

采用SLS工艺制备砂型、砂芯,进行了ZL114A合金管接头的快速铸造。通过随形砂型的设计,缩短了砂型制备时间。通过对砂型涂料涂覆以及型腔内表面进行打磨处理,消除了快速成形制备铸件的阶梯效应,显著提高了铸件的表面质量,获得了表面粗糙度与熔模铸造相当的铸件。

参考文献:

- [1] PATTNAIK S, KARUNAKAR D B, JHA P K. Developments in investment casting process-A review [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2012, 212 (11) : 2332-2348.
- [2] 吕志刚. 铸造技术路线图: 熔模铸造 [J]. 铸造, 2017 (4) : 317-321.
- [3] 梁小文, 王德清, 徐志锋, 等. 选区激光烧结用覆膜锆砂的制备及其SLS成形工艺研究 [J]. 铸造, 2017 (8) : 814-825.
- [4] 周建新, 计效园, 闫春泽, 等. 铸造技术路线图: 快速成形 [J]. 铸造, 2017 (5) : 7-12.
- [5] 余欢. 铸造工艺学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2018.12.
- [6] SHANGGUAN H L, KANG J W, YI J H, et al. The Design of 3D-printed lattice-reinforced thickness-varying shell molds for castings [J]. Materials, 2018, 11 (4) : 535-545.
- [7] LOH L E, LIU Z H, ZHANG D Q, et al. Selective laser melting of aluminium alloy using a uniform beam profile [J]. Virtual and Physical Prototyping, 2014, 9 (1) : 11-16.
- [8] 梁小文, 徐志锋, 饶江华, 等. 基于SLS整体砂型的薄壁铝铸件的快速成形 [J]. 特种铸造及有色合金, 2017, 37 (2) : 225-228.
- [9] 杨铎, 李智伟, 李作为, 等. 基于CAD/CAE/CAM的快速铸造方法及应用 [J]. 特种铸造及有色合金, 2015, 35 (3) : 255-257.
- [10] SINGH S, SHARMA V S, SACHDEVA A. Optimization and analysis of shrinkage in selective laser sintered polyamide parts [J]. Materials and Manufacturing Processes, 2012, 27 (6) : 707-714.
- [11] 朱佩兰, 徐志锋, 余欢, 等. 无模精密砂型快速铸造技术研究进展 [J]. 特种铸造及有色合金, 2013, 33 (2) : 136-140.
- [12] 景凤霞, 冯义宏, 闫福, 等. 应用快速成形技术生产箱体铸件 [J]. 特种铸造及有色合金, 2008 (3) : 208-209.
- [13] 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.

Rapid Sand Casting Process of Aluminium Alloy Piping Joints

ZHANG Shou-yin, HUANG Zheng, YAN Qing-song

(National Defence Key Discipline Laboratory of Light Alloy Processing Science and Technology, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, Jiangxi, China)

Abstract:

Normally, aluminium alloy piping joints are manufactured using investment casting process due to the demand of high surface finish. In order to decrease the production cost and shorten the manufacturing lead time as well as expand the scope of its application, rapid sand mold casting of piping joints was investigated in the present study. Casting simulation software ProCAST was used to simulate the filling process and predict shrinkage defects. Sound castings could be obtained by using sand mold/core prepared by SLS (Selective Laser Sintering) method. However, the surface roughness values of the cast joints were high due to the presence of the "step effect" in rapid prototyping sand mold. Combined with coating process and polishing treatment for sand mold cavity, the "step effect" was eliminated. As a result, the surface quality was significantly improved.

Key words:

rapid casting; SLS; conformal mold; surface quality